



POLITÉCNICA



Universidad Politécnica de Madrid

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA DE
TELECOMUNICACIÓN

Proyecto Fin de Carrera

Entorno histórico y social de la aparición del microchip

María González Mondaza

Mayo 2014

Agradecimientos

A mi madre, porque todo lo que he hecho lo he hecho por ella, para que se sienta orgullosa de mí.

A mi padre, por apoyarme siempre en todo y en cualquier momento.

A mis hermanos, Enrique y Pedro, por hacerme creer que soy capaz de hacer todo lo que me proponga. A Juani y a Melanie, por cuidar de mis hermanos, de mí y de los niños más guapos del mundo, David, Jaime, Quique y Candela.

A Jaime, por cuidarme, acompañarme y quererme siempre.

A Jose, mi primo que tanto nos ayuda con todo.

A mis amigas y compañeras, Lisbel y Lourdes, por todos esos buenos momentos y esas tardes de estudio.

Resumen

El siguiente proyecto es un desarrollo histórico-científico acerca de la notoria importancia que supuso la aparición del microchip o circuito integrado¹. El desarrollo de este trabajo ha sido una investigación bibliográfica en contenidos webs, enciclopedias y libros.

El trabajo contiene un estudio sobre los transistores que fue el componente que dio paso al circuito integrado además de ser uno de los mayores inventos del siglo XX, además, se propone una pequeña inmersión a la época histórica del momento de la aparición del transistor.

Al igual que con el transistor, se hace un estudio acerca del circuito integrado, pero en este caso siendo más extenso ya que es el objeto de estudio de este PFC. Para este componente sí que podemos encontrar una explicación más exhaustiva acerca de su fabricación, materiales. Además también podemos encontrar el momento histórico-social de la época bajo estudio.

Para finalizar con el proyecto, se hace un breve repaso de los ejemplos de aplicación del circuito integrado y así poder hacer hincapié de la revolución tecnológica que supuso el descubrimiento del microchip.

¹ El Microchip, o también llamado circuito integrado (CI), es una pastilla o chip muy delgado en el que se encuentran una cantidad enorme de dispositivos microelectrónicos interactuados, principalmente diodos y transistores, además de componentes pasivos como resistencias o condensadores. [<http://marianela-mundodelainformatica.blogspot.com.es>]

Abstract

The following work is a historical and scientific development regarding the fundamental importance the emergence of the microchip. The development of this work has consisted of a bibliographic research of web contents, encyclopedias and books.

The paper contains a study about the transistors, component that propitiated the integrated circuit and was one of the most important inventions of the XXth century. Also is proposed a short historical immersion in the time that preceded the coming of the transistor.

As well as with the transistor, a study of the integrated circuit is carried out, yet with deeper insight, for that is the central aim of this Final Project report. For this component a more exhaustive explanation of its manufacture process, materials and theories can be provided. Also, the historical and social of that time is described.

To complete the report, a brief review is done about examples of applications of the integrated circuit and thus highlight the technological revolution that the microchip development brought.

INDICE

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Capítulo 1 : Introducción general	11
1.1 Perfiles de una época decisiva.....	12
1.2 Los semiconductores	13
1.3 La Guerra Fría, marco de la política internacional	14
1.4 La Carrera Espacial.....	15
1.5 Microelectrónica y evolución económica.....	16
Capítulo 2 : De la válvula de vacío al transistor.....	18
2.1 Introducción	19
2.2 John Ambrose Fleming	22
2.3 De la válvula termoiónica al transistor.....	23
Capítulo 3 : El transistor	29
3.1 Introducción	30
3.2 Los orígenes de la Guerra Fría 1945-1947.....	33
3.3 William Bradford Shockley	39
3.4 John Bardeen	44
3.5 Walter Brattain	46

3.6	El transistor bipolar	48
3.7	Transistores de campo FET	55
3.8	Aparición del MOSFET y su tecnología	58
3.9	Transistor IGBT	60
Capítulo 4	: El circuito integrado	63
4.1	Introducción	64
4.2	1958	67
4.3	Jack Kilby	71
4.4	Robert Noyce	74
4.5	La tiranía de los números	77
4.6	Semiconductores intrínsecos, extrínsecos y fotoconductividad	78
4.7	Semiconductor intrínseco	79
4.8	Semiconductor extrínseco	82
4.9	Conductividad eléctrica y dependencia con la temperatura	84
4.10	Fotoconductividad	85
4.11	Tecnología y fabricación del microchip	86
4.12	Gordon Earl Moore	91
4.13	Ley de Moore	94
4.14	Intel	96
4.15	Etapas para la fabricación de un dispositivo	100

4.16	La evolución de los Circuitos Integrados	107
4.17	Tipos y clasificación de los circuitos integrados	108
4.18	Características importantes en TTL	112
4.19	Características importantes en CMOS.....	113
4.20	Diferencias más importantes.....	114
4.21	Ejemplos de utilización del circuito integrado	116
4.22	El Microprocesador	118
4.23	1971	124
Capítulo 5	: Conclusiones.....	129
Capítulo 6	: Bibliografía	133
Anexo	: Cronología Relacionada	136
	• Cronología histórico-científico-técnica.....	137

INDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Emisora de radiodifusión KDKA	20
Ilustración 2. John Ambrose Fleming	22
Ilustración 3: Técnico cambiando válvula termoiónica al ENIAC	25
Ilustración 4: Válvula termoiónica	27
Ilustración 5: Transistor npn	30
Ilustración 6: Imagen cómica acerca de la Guerra Fría	34
Ilustración 7: George Marshall	37
Ilustración 8: William Bradford Shockley	39
Ilustración 9: John Bardeen	44
Ilustración 10: Walter Brattain	46
Ilustración 11: Transistor NPN y PNP	48
Ilustración 12: Corrientes	48
Ilustración 13: Tensiones	49
Ilustración 14: Estructura de un TRT bipolar	50
Ilustración 15: Estructura real de un TRT	50
Ilustración 16: Dimensiones de un TRT	51
Ilustración 17: TRT + terminales	52
Ilustración 18: Ejemplo de funcionamiento	53
Ilustración 19: Amplificador controlado por corriente	56

Ilustración 20: Amplificador controlado por tensión	56
Ilustración 21: Transistor MOS	60
Ilustración 22: Transistor bipolar de puerta aislada.....	61
Ilustración 23: Circuito Integrado	64
Ilustración 24: Bandera de la Comunidad Económica Europea (CEE).....	68
Ilustración 25: Jack Kilby.....	71
Ilustración 26: Robert Noyce	74
Ilustración 27: “Los ocho traidores”	75
Ilustración 28: Bandas energéticas.....	78
Ilustración 29: Enlaces covalentes todos completos.....	80
Ilustración 30: Consecuencia de la rotura de un enlace covalente.....	81
Ilustración 31: Agregado de un donante	83
Ilustración 32: Agregado de un aceptor	84
Ilustración 33: Sala limpia o blanca	88
Ilustración 34: Gordon Earl Moore.....	91
Ilustración 35: Ley de Moore I.....	93
Ilustración 36: Microprocesador 8008	96
Ilustración 37: Altair	97
Ilustración 38: Intel Core i7	100
Ilustración 39: Método Czochralsky	102

Ilustración 40: Método de la Zona Flotante	103
Ilustración 41: Radio AM/FM.....	116
Ilustración 42: Calculadora de cinco funciones	117
Ilustración 43: Microcomputador de 8 bits	118
Ilustración 44: Arquitectura Intel 80386	123
Ilustración 45: Richard Nixon.....	124

INDICE TABLAS

Tabla 1: Separación entre bandas	79
Tabla 2: Clasificación de salas limpias según ISO 14644-1 y equivalencia con FED STD 209E	90
Tabla 3: Ley de Moore II	95
Tabla 4: Características de algunos sustratos.....	112

Capítulo 1 :

Introducción general

En este Proyecto se considera la evolución del microchip teniendo en cuenta no solamente los aspectos científico-tecnológicos en que se desarrolló su creación y primeros desarrollos sino también –y ésta es la novedad que intentamos acometer– algunos aspectos que complementan a éstos y que pretenden ligarlos con la realidad envolvente histórico-política y, en definitiva, social.

1.1 Perfiles de una época decisiva

Efectivamente, en el periodo central de este trabajo, que es el que va desde el descubrimiento del transistor (finales de 1947) hasta la puesta a punto del microprocesador (1971), con centro en el año del *chip*, o circuito integrado (1958), la “envoltura” del acelerado desarrollo de la electrónica debe describirse con acentuado tono histórico-político ya que corresponde al periodo de la llamada Guerra Fría y, precisamente, a algunos de sus peores años, caracterizados por la tensión político-militar entre las dos grandes potencias, los Estados Unidos y la Unión Soviética, que sustituyeron su alianza en los últimos años de la Segunda Guerra Mundial y primeros meses de la posguerra por una tensión que les llevó al enfrentamiento global, en el que lo único que faltó fue el estallido bélico directo (ya que el indirecto abundó, apoyando ambas potencias los bandos enfrentados en numerosos conflictos bélicos menores por diversos lugares del planeta).

Lo que se intenta mostrar aquí es que el intenso y acelerado desarrollo de la tecnología electrónica fue en esos años un producto de esta tensión político-militar, en la que la pugna entre las llamadas “superpotencias” abarcó de forma especial a la competencia científico-técnica y a los desarrollos industriales que tuvieron que ver con los avances militares y la pugna logística y estratégica. Esto no es una gran novedad, ni planteamos algo que no viniera sucediendo, con otras tecnologías, antes de la Segunda Guerra Mundial, pero no debe dudarse de que en la segunda parte del siglo XX la implicación de la electrónica y las telecomunicaciones en los programas militares ha sido especialmente intensa e indiscutible (y que se prolonga, sin duda, en estas primeras décadas del siglo XXI).

Desde el principio del planteamiento de este PFC hemos querido, desde luego, recordar el perfil personal de los protagonistas de este proceso científico-tecnológico,

de los que hemos seleccionado siete y que van desde los creadores de la válvula de vacío (Fleming, en particular) con funciones típicamente electrónicas, hasta los nombres más destacados de la década de 1950 (Kilby, Noyce, Moore), pasando por el célebre trío creador del transistor (Shockley, Brattain, Bardeen), que constituyen la verdadera plataforma del giro material en la historia de la electrónica y sus infinitas aplicaciones. Personalidades hoy casi míticas que estuvieron relacionadas con los Bell Laboratories o con otras empresas incipientes, varias de las cuales fueron creadas por ellos mismos; o con el famoso y legendario Silicon Valley, en la bahía de San Francisco, cuyo surgimiento hay que fecharlo en los primeros años 50.

1.2 Los semiconductores

El contenido esencial de nuestro trabajo corresponde, desde luego, a la pequeña historia global de los llamados *semiconductores*, materiales contruidos a partir de elementos que, en principio, abundan en la superficie terrestre, como es el caso del silicio; pero que necesitan, para aportar las propiedades eléctricas y electrónicas deseadas, de elaborados procesos de transformación y adaptación de base físico-químico-luminosa.

Como en el texto reseñamos, el hallazgo de los materiales semiconductores puede que haya sido la aportación más importante del siglo XX a la industria electrónica y de telecomunicaciones, sobre todo si atendemos a los vertiginosos avances a que han dado lugar, tanto en la producción industrial como en el consumo público, en el sector servicios como en el militar, aeroespacial, etcétera, dando lugar a la configuración de la Informática, ciencia sintética de aplicaciones técnicas universales y, ciertamente, transformadoras.

Concretamente, la “carrera de los semiconductores” arranca con la creación del *transistor* a finales de 1947, continúa con el hallazgo del *circuito integrado*, o *chip*, en 1958 y adquiere espectaculares posibilidades con el *microprocesador*, un microchip cuya elaboración incluyó funciones que sorprendieron al mundo de la tecnología a partir de 1971. Los microprocesadores, por su parte, continúan reproduciéndose desde esa fecha en sucesivas generaciones que aportan incesantemente más y más

perfeccionadas funciones, dando paso a la microelectrónica y a las inagotables posibilidades que ésta aporta.

En medio de esa sucesión de descubrimientos y creaciones hemos tenido que rendir el tributo debido a Gordon Moore y el anunciado de la ley que lleva su nombre, que ya en su día (1965) se atrevió a expresar, y anunciar, el vertiginoso desarrollo de los semiconductores y sus funciones, tanto en el aumento de la velocidad del procesamiento de datos como en la reducción de sus dimensiones y, también, de su coste.

1.3 La Guerra Fría, marco de la política internacional

El periodo histórico que contemplamos está enteramente inmerso en lo que pronto se llamó Guerra Fría, es decir, el marco de política internacional dominado por la tensión –peligrosa, a veces militar, siempre política– entre las dos grandes potencias, la norteamericana y la soviética. Esto provocó el alineamiento de casi todos los Estados del mundo con una u otra potencia, lo que conllevó una bipolarización política que durante años resultó muy marcada. Contra esta división en dos del planeta surgió lo que en su día se llamó el Tercer Mundo, o Movimiento de los No Alineados, cuyo arranque tuvo lugar precisamente en 1955, en la cumbre de Bandung (Indonesia).

En cuanto a los aspectos que aquí nos ocupan, la Guerra Fría provocó también una drástica ruptura en dos tanto de las políticas oficiales de ciencia y tecnología como de las distintas comunidades científicas e ingenieriles, y en definitiva de las actividades de investigación y desarrollo en todo el mundo, lo que fue especialmente notorio en lo referente a los aspectos militares y conexos (como la competencia en el espacio exterior): ambas potencias pugnaron durante años entre sí para adelantarse la una a la otra y ponerse en evidencia con conquistas espectaculares.

Uno de los productos más decisivos de esa tensión político-militar, y que en este trabajo sólo podemos citar, fue la Cibernética, es decir, una nueva ciencia que trataba del control y la comunicación “entre animales y máquinas”, como rezaba el subtítulo de la obra del mismo nombre, que recogía los fundamentos teóricos y prácticos, y cuyo autor era Norbert Wiener, matemático afincado en el MIT. Obviamente, la Cibernética

no habría alcanzado el desarrollo que con el tiempo lograría sin recurrir a los semiconductores y, concretamente, a los microprocesadores.

1.4 La Carrera Espacial

Dejando aparte el desarrollo de la industria militar y sus aplicaciones en todo tipo de armamento (nuclear en particular), la tensión permanente entre las superpotencias se reflejó en sumo grado en la llamada Carrera Espacial, consistente en la implacable competencia en que se desenvolvieron Estados Unidos y la Unión Soviética por alcanzar los logros más llamativos e impresionantes en el espacio exterior. Desde luego, esta carrera y sus éxitos indudables no habrían sido posibles sin los avances en electrónica y telecomunicaciones, evidenciando que ambos Estados punteros se mantenían en muy semejantes niveles científico-tecnológicos (al menos en el ámbito de lo espacial).

El primer éxito se lo anotó la Unión Soviética cuando en octubre de 1957 lanzó el primer satélite artificial, el *Sputnik*, que daba una vuelta a la tierra cada hora y media aproximadamente, a una velocidad de 29.000 km/h. El golpe al prestigio de Estados Unidos, y con él, a todo Occidente, se agravó seriamente cuando en abril de 1961 la URSS puso en órbita la nave *Vostok-1*, en cuyo interior viajaba el comandante Yuri Gagarin...

Aquello resultó insoportable para Estados Unidos, en ese momento presididos por el joven presidente John Kennedy, que tantas esperanzas había suscitado en la opinión pública norteamericana y en todo el mundo pro occidental. Por eso, al mes siguiente de la gesta de Gagarin, anunció que los norteamericanos lograría llevar un hombre a la Luna (con regreso) antes de que finalizara la década: así se inició el Proyecto Apolo que, efectivamente, logró la conquista de nuestro satélite en julio de 1969, con el viaje de Armstrong, Aldrin y Collins. La carrera espacial fue adquiriendo en los años 60 y las dos décadas siguientes el carácter de una competencia vital, en la que ambas superpotencias se jugaban lo mejor de su prestigio y a la que se destinaron miles de millones de dólares (que, por supuesto, podían haberse dirigido a resolver problemas más reales y acuciantes, tanto en el interior de ambos países como en el mundo

entero. Los Estados Unidos se preguntan, todavía hoy, si tuvo sentido práctico el costoso programa de llevar a los humanos a la Luna).

1.5 Microelectrónica y evolución económica

Esta evolución técnico-histórico-política que tratamos de considerar habría necesitado, por supuesto, del añadido de una descripción económica, lo que nos habría llevado demasiado lejos. Porque para nadie es un secreto que, más frecuentemente incluso que el estímulo militar, es el impulso económico el que configura el mundo creativo de la ciencia y la tecnología; y esto ha sido así en ambos mundos ideológicos, el capitalista encabezado por Estados Unidos y el comunista dirigido por la Unión Soviética, aunque con diferencias que en algunos aspectos han sido esenciales.

En el terreno estrictamente económico se considera que fue precisamente la miniaturización aportada por la evolución de los semiconductores lo que abrió más amplias perspectivas de desarrollo económico, en la producción y en el consumo, de modo especial por sus aplicaciones en los ordenadores, tanto los profesionales como los de investigación y los de consumo popular.

Llamamos la atención, a este respecto, sobre la curiosa coincidencia que se da en el año 1971, juntándose la aparición del primer microprocesador con el inicio de la desregulación monetaria internacional, a iniciativa del presidente norteamericano Nixon. Así, el empuje del nuevo capitalismo, en su versión neoliberal, se data, precisamente en los primeros años 70, con la significativa fecha de 1971, con la crisis energética ocurrida a continuación (1973-75), la llegada al poder en el Reino Unido de Margaret Thatcher como primera ministra, en mayo de 1979 y la victoria electoral de Ronald Reagan, que lo convertiría en presidente de Estados Unidos desde enero de 1981; ambos dirigentes fueron considerados los protagonistas político-económicos de la nueva etapa, caracterizada por un neoliberalismo ideológicamente conservador.

Este conservadurismo ha ido cercenando al llamado Estado de Bienestar, implantado después de la Segunda Guerra Mundial, a lo largo de los últimos decenios, que coinciden con el auge espectacular de la microelectrónica y sus aplicaciones más

destacables: la computación, la informática, la electrónica de consumo, etcétera. De tal manera que se puede decir que estos desarrollos científico-técnicos vienen siendo simultáneos, en los otros planos de consideración, con el conservadurismo político, la austeridad socioeconómica, la expansión del desempleo y hasta la pérdida de derechos de tipo democrático que se consideraban definitivamente consolidados.

Pero en este PFC, cuyos contenidos apuntan, efectivamente, a ámbitos de análisis y reflexión tan numerosos e interesantes, nos hemos limitado a estudiar y relacionar el tema que nos ocupa, los semiconductores y el microchip, en dos de estos aspectos: el científico-tecnológico y el histórico-social, con alusiones concretas a lo político.

Capítulo 2 :

De la válvula de vacío al transistor

2.1 Introducción ²

Las primeras observaciones relacionadas con los fenómenos eléctricos son del tiempo de la Grecia Antigua (Tales de Mileto, Demócrito, etc...). Sin embargo, no es hasta el siglo XIX cuando se desarrollan algunas teorías que explican satisfactoriamente parte de dichos fenómenos. En 1893, Maxwell reunió las investigaciones en el campo de la electricidad y magnetismo de grandes científicos tales como Coulomb, Ampere, Ohm, Gauss, Faraday..., y publicó las reglas matemáticas que rigen las interacciones electromagnéticas. Aunque Maxwell no reconoce la naturaleza corpuscular de la corriente eléctrica, sus ecuaciones son aplicables incluso después del establecimiento de la naturaleza discreta de la carga. La predicción de la existencia de ondas electromagnéticas y su posibilidad de propagación en el espacio constituye la base del posterior desarrollo de las comunicaciones.

La Electrónica probablemente no se inicia hasta que Lorentz postuló en 1895 la existencia de las cargas discretas denominadas electrones. Thompson halló experimentalmente su existencia dos años más tarde y Millikan midió con precisión la carga del electrón ya entrado el siglo XX. Hasta principios de este siglo, la Electrónica no empezó a tomar cariz tecnológico. En 1904, Fleming inventó el diodo, que denominó válvula, el cual consistía en un filamento caliente, emisor de electrones, situado en el vacío a una corta distancia de una placa. En función de la tensión positiva y negativa de la placa, se producía paso de corriente en una dirección. Esta válvula se empleó como detector de señales inalámbricas y vino a sustituir a los detectores de galena utilizados hasta ese momento, que eran difíciles de construir y precisaban de continuos ajustes manuales.

Quizá el acontecimiento más importante en la historia primitiva de la electrónica tuvo lugar en 1906 cuando De Forest interpuso un tercer electrodo (rejilla) en una

² La evolución tecnológica de la válvula de vacío hasta el transistor está tomada de los siguientes enlaces web:

www.buenastareas.com, electro-cev.blogia.com, www.juanleyva.es, www.es.wikipedia.org.

válvula de Fleming creando el tubo triodo denominado audión³. En este dispositivo, la aplicación de una pequeña tensión a la rejilla produce una alta variación de la tensión de la placa; por consiguiente, el audión fue el primer amplificador de la historia. No obstante, se necesitaron varios años para avanzar en el problema de emisión termoiónica con objeto de conseguir un elemento electrónico seguro.

El desarrollo de la electrónica en esta época está ligado al desarrollo de la radio. Basados en tubos de vacío se construyen diferentes tipos de circuitos con aplicación en las comunicaciones por radio. Con diodos y triodos fueron diseñados los amplificadores en cascada, amplificadores regenerativos, osciladores, el receptor heterodino, entre otros. Este desarrollo de la electrónica permitió fundar la primera emisora de radiodifusión, KDKA, construida en 1920 por la Westinghouse Electric Corporation; en 1924, ya había 500 estaciones de radio en Estados Unidos. La evolución del triodo dio lugar a técnicas de calentamiento indirecto del cátodo y a la introducción de los tetrodos, pentodos y las ampollas de vidrio en miniatura. En 1938 se encuentra disponible el primer receptor en FM después que Armstrong en 1933 desarrollara la modulación en frecuencia. La televisión en blanco y negro surgió en 1930 y la de color alrededor de la mitad de este siglo XX.



Ilustración 1: Emisora de radiodifusión KDKA

Pero la verdadera revolución tecnológica de la Electrónica surge con la invención de los dispositivos basados en semiconductores, y más en concreto, con la invención

³ El audión es la primera válvula electrónica de tipo triodo. Con ella se lograron las primeras ampliaciones electrónicas

del transistor. Los primeros trabajos sobre semiconductores fueron comenzados por Hall en 1879 sobre el efecto que lleva su nombre. Los primeros rectificadores de unión metal-semiconductor se estudian entre 1920 y 1930, y es en 1938 cuando Shottky y Mott realizan separadamente un estudio sistemático sobre las propiedades de estos dispositivos, proponiendo la primera teoría del espacio de carga. En esta época, se realizan muchos estudios sobre semiconductores y se perfeccionan las técnicas de crecimiento de cristales. En 1943, se obtiene la primera unión P-N sobre cristal único de silicio.

En 1947, se presionaron dos sondas de hilo de oro próximas entre sí sobre una superficie de un cristal de germanio. Brattain y Bardeen se dieron cuenta de que era un dispositivo amplificador, naciendo así el primer amplificador de estado sólido (en forma de transistor de contacto). Sin embargo, era un transistor deficiente, de poca amplitud de banda y mucho ruido, donde además los parámetros diferían ampliamente de uno a otro dispositivo. Shockley propuso el transistor de unión para mejorar las características del transistor de contacto, y completó su teoría de funcionamiento. El nuevo dispositivo tenía portadores de ambas polaridades operando simultáneamente: eran dispositivos bipolares.

El transistor no podía ser eficiente hasta que no se dispusiese de cristales simples extraordinariamente puros. Bell Laboratories lograron formar cristales simples de germanio y silicio con impurezas muy por debajo de una parte en mil millones, y a partir de aquí, fue posible controlar el proceso de dopado de los semiconductores. Los primeros transistores de crecimiento fueron construidos en 1950, y un año después, ya se fabricaban comercialmente por RCA, Westinghouse, General Electric y Western Electric. En esta época, los componentes de estado sólido desplazaron virtualmente a las válvulas en casi todas las aplicaciones, tanto militares como comerciales.

La idea inicial de construir un circuito completo de estado sólido en un bloque semiconductor (el microchip) fue propuesta por Dummer en 1952. No obstante, en 1958 Kilby, poco después de incorporarse a la Texas Instrument, concibió la idea de un monolito, es decir, construir un circuito completo en germanio o silicio. El primer circuito integrado fue un oscilador por rotación de fase, que construyó empleando

como material base el germanio, y sobre él, se formaban resistencias, condensadores y transistor, utilizando cables de oro para unir estos componentes.

En este trabajo vamos a hacer un recorrido desde las primeras válvulas de vacío hasta la creación del primer microchip, pasando por las etapas intermedias.

2.2 John Ambrose Fleming

El profesor John Ambrose Fleming es considerado uno de los grandes hombres de la radio y la electrónica. Inventó la válvula termoiónica o tubo de vacío por lo que podría decirse que es el comienzo de la electrónica moderna. Esta tecnología dio paso a que la electrónica inalámbrica siguiera adelante, permitiendo que los aparatos de radio fueran sencillos de fabricar. Como resultado de esta contribución, algunos se refieren a Ambrose Fleming como el padre de la electrónica.

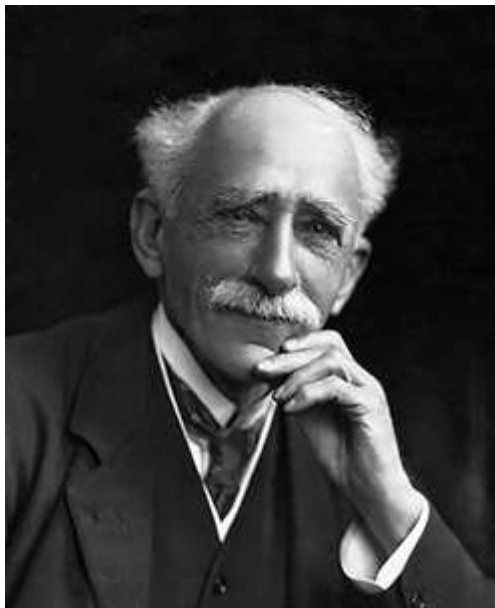


Ilustración 2. John Ambrose Fleming

Estudió en el University College de Londres (1866) y en el Royal College de Química en South Kensington. A los 28 años fue a Cambridge, donde estudió durante dos años bajo la dirección de J. C. Maxwell en el Laboratorio Cavendish. Fue Catedrático de Física en el Nottingham University College (1882). En 1884 se hizo cargo de la recién creada Cátedra de Ingeniería Eléctrica en el University College de Londres, que

ocuparía durante 41 años. En 1879 las compañías Edison y la Bell Telephone comenzaron a instalarse en Londres y eligieron a Fleming como asesor científico. Su contribución fundamental fue probablemente la dedicada a la fotometría de las lámparas eléctricas. Cabe destacar la importancia del libro que escribió sobre ensayos de transformadores. En 1899 fue asesor de la compañía Marconi, para la cual diseñó una pequeña central que desarrollaba 20 kW en alta tensión para los circuitos de radiocomunicación. Una contribución fundamental a la radio fue su diodo rectificador, basado en el efecto Edison, y que patentó en 1904. Hizo una contribución inmensa a la tecnología eléctrica a través de los cursos organizados por su Universidad, por sus conferencias y por sus libros. Sus reglas de la mano derecha y de la mano izquierda para determinar las relaciones vectoriales de la fuerza magnética y de la fuerza electromotriz respectivamente, son una prueba de su pedagogía. Sus clases eran ejemplo de gran lucidez, comprensión y amenidad. Obtuvo grandes premios: medalla Faraday, premio Kelvin, medalla Hughes y otros.

2.3 De la válvula termoiónica al transistor

Como se mencionaba en el punto anterior Fleming fue el creador de la válvula termoiónica, que antes de la aparición del transistor, los ingenieros debían utilizar como elementos activos (válvulas termoiónicas). La introducción de los tubos de vacío a comienzos del siglo XX propició el rápido crecimiento de la electrónica moderna. Con estos dispositivos se hizo posible la manipulación de señales, algo que no podía realizarse en los antiguos circuitos telegráficos y telefónicos, ni con los primeros transmisores que utilizaban chispas de alta tensión para generar ondas de radio. Por ejemplo, con los tubos de vacío pudieron amplificarse las señales de radio y de sonidos, y además podían superponerse señales de sonido a las ondas de radio.

El desarrollo de una amplia variedad de tubos, diseñados para funciones especializadas, posibilitó el rápido avance de la tecnología de comunicación radial antes de la Segunda Guerra Mundial, y el desarrollo de las primeras computadoras, durante la guerra y poco después de ella.

Las válvulas tienen características eléctricas similares a la de los transistores de efecto campo (FET): la corriente que los atraviesa depende de la tensión en el borne de

comando, llamado rejilla. Las razones por las que el transistor reemplazó a la válvula termoiónica son varias:

- Las válvulas necesitan tensiones muy altas, del orden de las centenas de voltios, que son peligrosas para el ser humano.
- Las válvulas consumen mucha energía, lo que las vuelve particularmente poco útiles para el uso con baterías.
- Probablemente, uno de los problemas más importantes haya sido el peso. El chasis necesario para alojar las válvulas y los transformadores requeridos para su funcionamiento sumaban un peso importante, que iba desde algunos kilos a decenas de kilos.
- El tiempo medio entre fallos de las válvulas termoiónicas es muy corto comparado con el de los transistores, sobre todo a causa del calor generado.
- Las válvulas presentan una cierta demora en comenzar a funcionar, ya que necesitan estar calientes para establecer la conducción.
- El transistor es intrínsecamente insensible al efecto microfónico⁴, muy frecuente en las válvulas.
- Los transistores son más pequeños que las válvulas. Aunque existe unanimidad sobre este punto, conviene hacer una salvedad: en el caso de dispositivos de potencia, estos deben llevar un disipador, de modo que el tamaño que se ha de considerar es el del dispositivo (válvula o transistor)

⁴ Este efecto consiste en la transmisión al filamento de vibraciones mecánicas. Cuando el filamento vibra, transmite estas oscilaciones al cátodo, variando su distancia con la rejilla, lo que produce una modulación en la corriente de electrones. En el ánodo, la señal útil aparece modulada por las vibraciones mecánicas, lo que es especialmente desagradable en el caso de amplificadores de audio, ya que las vibraciones que se acoplan provienen del propio altavoz. Los campos magnéticos también pueden crear oscilaciones del filamento, por ello algunas válvulas se encerraban en tubos de gran permeabilidad magnética (mu-metal).

más el del disipador. Como las válvulas pueden funcionar a temperaturas más elevadas, la eficiencia del disipador es mayor en ellas que en los transistores, con lo que basta un disipador mucho más pequeño.

- Los transistores trabajan con impedancias bajas, o sea con tensiones reducidas y corrientes altas; mientras que las válvulas presentan impedancias elevadas y por lo tanto trabajan con altas tensiones pequeñas corrientes.
- Finalmente, el costo de los transistores no solamente era muy inferior, sino que contaba con la promesa de que continuaría bajando (como de hecho ocurrió) con suficiente investigación y desarrollo.

Como ejemplo de todos estos inconvenientes se puede citar a la primera computadora digital, llamada ENIAC construida en 1946. Era un equipo que pesaba más de treinta toneladas y consumía 200 kilovatios, suficientes para alimentar una pequeña ciudad. Tenía alrededor de 18.000 válvulas, de las cuales algunas se quemaban cada día, necesitando una logística y una organización importantes.

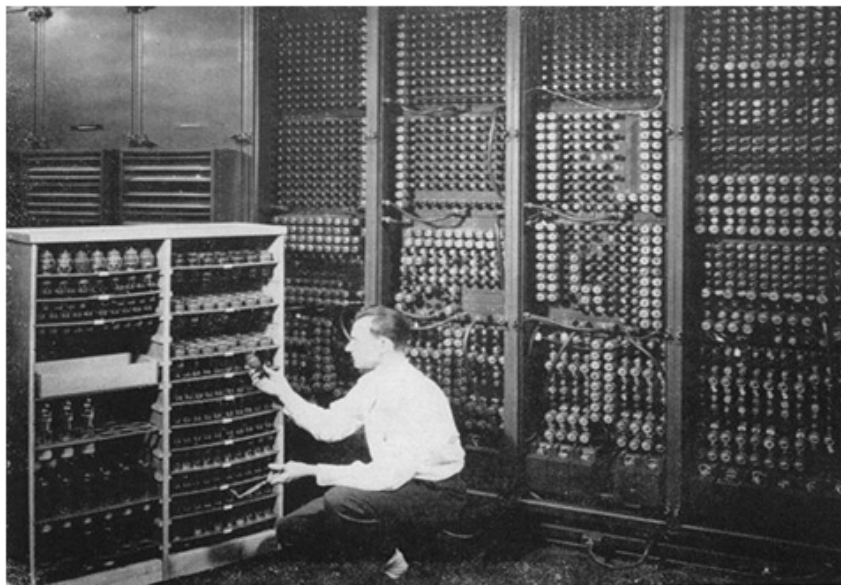


Ilustración 3: Técnico cambiando válvula termoiónica al ENIAC

Cuando el transistor bipolar fue inventado en 1947, fue considerado una revolución. Pequeño, rápido, fiable, poco costoso, sobrio en sus necesidades de energía, reemplazó progresivamente a la válvula termoiónica durante la década de 1950, pero no del todo. En efecto, durante los años 1960, algunos fabricantes siguieron utilizando válvulas termoiónicas en equipos de radio de gama alta, como Collins y Drake; luego el transistor desplazó a la válvula de los transmisores pero no del todo de los amplificadores de radiofrecuencia. Otros fabricantes, de equipo de audio esta vez, como Fender, siguieron utilizando válvulas en amplificadores de audio para guitarras. Las razones de la supervivencia de las válvulas termoiónicas son varias:

- El transistor no tiene las características de linealidad a alta potencia de la válvula termoiónica, por lo que no pudo reemplazarla en los amplificadores de transmisión de radio profesionales y de radio-aficionados sino hasta varios años después.
- Los armónicos introducidos por la no-linealidad de las válvulas resultan agradables al oído humano, por lo que son preferidos por los audiófilos.
- El transistor es muy sensible a los efectos electromagnéticos de las explosiones nucleares, por lo que se siguieron utilizando válvulas termoiónicas en algunos sistemas de control-comando de aviones caza de fabricación soviética.
- Las válvulas son capaces de manejar potencias muy grandes, impensables para los transistores en sus comienzos; sin embargo, a través de los años se desarrollaron etapas de potencia con múltiples transistores en paralelo capaces de conseguirlo
- El desarrollo de la electrónica y de sus múltiples aplicaciones fue posible gracias a la invención del transistor, ya que este superó ampliamente las dificultades que presentaban sus antecesores, las válvulas. En efecto, las válvulas, inventadas a principios del siglo XX, habían sido aplicadas exitosamente en telefonía como amplificadores y posteriormente popularizadas en radios y televisores.

Sin embargo, presentaban inconvenientes que tornaban impracticables algunas de las aplicaciones que luego revolucionarían nuestra sociedad del conocimiento. Uno de sus mayores inconvenientes era que consumían mucha energía para funcionar. Esto era causado porque las válvulas calientan eléctricamente un filamento (cátodo) para que emita electrones que luego son colectados en un electrodo (ánodo), estableciéndose así una corriente eléctrica. Luego, por medio de un pequeño voltaje (frenador), aplicado entre una rejilla y el cátodo, se logra el efecto amplificador, controlando el valor de la corriente, de mayor intensidad, entre cátodo y ánodo.

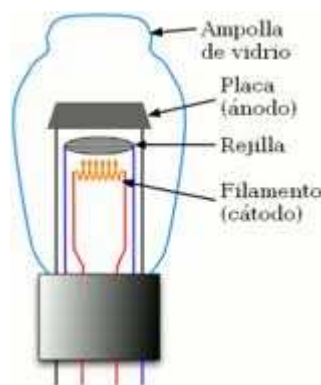


Ilustración 4: Válvula termoiónica

Los transistores, desarrollados en 1947 por los físicos Shockley, Bardeen y Brattain, resolvieron todos estos inconvenientes y abrieron el camino, que, junto con otras invenciones (como la de los circuitos integrados) potenciarían el desarrollo de las computadoras. Y todo a bajos voltajes, sin necesidad de disipar energía (como era el caso del filamento), en dimensiones reducidas y sin partes móviles o incandescentes que pudieran romperse.

El filamento no sólo consumía mucha energía, sino que también solía quemarse, o las vibraciones lograban romperlo, por lo que las válvulas terminaban resultando poco confiables.

Además, como era necesario evitar la oxidación del filamento incandescente, la válvula estaba conformada por una carcasa de vidrio, que contenía un gas inerte o vacío, haciendo que el conjunto resultara muy voluminoso.

Los transistores se basan en las propiedades de conducción eléctrica de materiales semiconductores, como el silicio o el germanio. Particularmente, el transporte eléctrico en estos dispositivos se da a través de junturas, conformadas por el contacto de materiales semiconductores, donde los portadores de carga son de distintos tipos: Huecos (tipo P) o electrones (tipo N).

Las propiedades de conducción eléctrica de las junturas se ven modificadas dependiendo del signo y de la magnitud del voltaje aplicado, donde, en definitiva, se reproduce el efecto amplificador que se obtenía con las válvulas: operando sobre una juntura mediante un pequeño voltaje se logra modificar las propiedades de conducción de otra juntura próxima que maneja un voltaje más importante.

Capítulo 3 :

El transistor

3.1 Introducción⁵

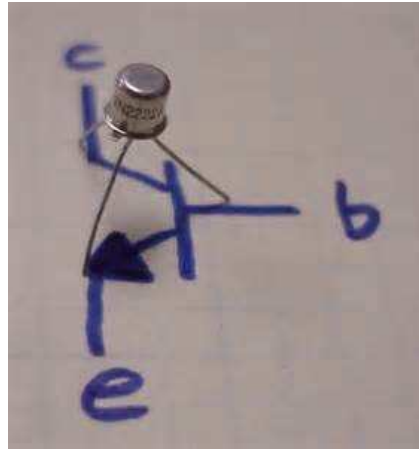


Ilustración 5: Transistor npn

El 16 de diciembre de 1947, William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain armaron el primer transistor. Poco después, un computador compuesto por estos transistores pesaba unas 28 toneladas y consumía alrededor de 170 MW de energía. Más adelante Bell Labs convertía esos transistores de tubos en interruptores eléctricos, desatando una serie de pujas y rivalidades entre los involucrados en el tema.

Varios historiadores de la tecnología consideran al transistor como "el mayor invento del siglo XX". Es el dispositivo electrónico básico que dio lugar a los circuitos integrados y demás elementos de la alta escala de integración.

⁵ El desarrollo del transistor y las biografías de los inventores esta tomado de las siguientes fuentes:

www.es.wikipedia.org, <http://www.slideshare.net/enarosacera/los-transistores>, Genios de la Ingeniería eléctrica (Jesus Fraile Mora), www.ret-edu.com.ar, itpedia.wikispaces.com, webs.uvigo.es/mdgomez/DEI/Guias/tema5.pdf, <http://www.juanleyva.es>, transistores de efecto de campo (Ing. Carlos González) (myteacher.com), transistores de efecto de campo (Guillermo Lehmann) (www.eet460rafaela.edu.ar)

Así como la Revolución industrial del siglo XIX se establece en base a la máquina de vapor de James Watt, puede decirse que la era de las comunicaciones ha podido establecerse en base al transistor.

El transistor es un dispositivo de tres terminales que surge en los Laboratorios Bell de la AT&T. Se buscaba un conmutador de estado sólido para ser utilizado en telefonía y para reemplazar tanto a los relés como a los sistemas de barras. Luego se contempla la posibilidad de obtener el reemplazo de la válvula (o tubo) de vacío.

Se sabía que el contacto entre un alambre metálico y la galena (sulfuro de plomo) permitía el paso de corriente en una sola dirección, tal como lo revelaron los trabajos de Carl Ferdinand Braun. El radar, por otra parte, al emplear frecuencias elevadas, debía utilizar un detector eficaz, con muy poca capacidad eléctrica, por lo que no era conveniente el uso de los diodos de vacío. El diodo de estado sólido era esencial para esa finalidad. En la década de los cuarenta estaba completo el estudio teórico de los contactos semiconductor-metal.

Uno de los inventores del transistor, Walter Brattain, escribió: "Ninguno en la profesión estaba seguro de la analogía entre un rectificador de óxido de cobre y un tubo diodo de vacío y muchos tenían la idea de cómo conseguir poner una rejilla, un tercer electrodo, para hacer un amplificador".

Un diodo surge al unir un material N con uno P, el transistor surge de una unión de tipo NPN, o bien PNP. La denominación "transistor" fue sugerida por J.R. Pierce, quien dijo: "...y entonces, en aquella época, el transistor fue imaginado para ser el dual del tubo de vacío, así un tubo de vacío tenía transconductancia⁶, este debe tener transresistencia⁷, y así llegué a sugerir "transistor".

⁶ Un amplificador de transconductancia variable (OTA) es un dispositivo electrónico parecido a un amplificador operacional. Si bien en un amplificador operacional, la tensión de salida es proporcional a la tensión de entrada, en un amplificador operacional de transconductancia, es la corriente de salida la que es proporcional a la tensión de entrada. Esto se consigue con una alta impedancia de salida, a diferencia del amplificador operacional (OA) que presenta una baja impedancia a la salida. Esto implica que el OTA trabajará con bajas corrientes de salida

Al principio se usaron transistores bipolares y luego se inventaron los denominados transistores de efecto de campo (FET). En los últimos, la corriente entre la fuente y la pérdida (colector) se controla usando un campo eléctrico. Por último, apareció el semiconductor metal-óxido FET (MOSFET). Los MOSFET permitieron un diseño extremadamente compacto, necesario para los circuitos altamente integrados (IC). Hoy la mayoría de los circuitos se construyen con la denominada tecnología CMOS (semiconductor metal-óxido complementario). La tecnología CMOS es un diseño con dos diferentes MOSFET (MOSFET de canal N y P), que se complementan mutuamente y consumen muy poca corriente en un funcionamiento sin carga.

El transistor consta de un sustrato (usualmente silicio) y tres partes dopadas artificialmente (contaminadas con materiales específicos en cantidades específicas) que forman dos uniones bipolares: el emisor que emite portadores, el colector que los recibe o recolecta y la tercera, que está intercalada entre las dos primeras, modula el paso de dichos portadores (base). A diferencia de las válvulas, el transistor es un dispositivo controlado por corriente y del que se obtiene corriente amplificada. En el diseño de circuitos a los transistores se les considera un elemento activo, a diferencia de los resistores, capacitadores e inductores que son elementos pasivos.

De manera simplificada, la corriente que circula por el "colector" es función amplificada de la que se inyecta en el "emisor", pero el transistor sólo gradúa la corriente que circula a través de sí mismo, si desde una fuente de corriente continua se alimenta la "base" para que circule la carga por el "colector", según el tipo de circuito que se utilice. El factor de amplificación o ganancia logrado entre corriente de base y corriente de colector, se denomina Beta del transistor. Otros parámetros a tener en cuenta y que son particulares de cada tipo de transistor son: Tensiones de

⁷ El amplificador de transresistencia también llamado conversor de I->V es un circuito que nos da una tensión de salida proporcional a la intensidad de entrada. Es un circuito muy utilizado como acondicionador de señal de algunos Sensores que dan la información en forma de intensidad.

ruptura de Colector Emisor, de Base Emisor, de Colector Base, Potencia Máxima, disipación de calor, frecuencia de trabajo, y varias tablas donde se grafican los distintos parámetros tales como corriente de base, tensión Colector Emisor, tensión Base Emisor, corriente de Emisor, etc. Los tres tipos de esquemas básicos para utilización analógica de los transistores son emisor común, colector común y base común.

Modelos posteriores al transistor descrito, el transistor bipolar (transistores FET, MOSFET, JFET, CMOS, VMOS, etc.) no utilizan la corriente que se inyecta en el terminal de "base" para modular la corriente de emisor o colector, sino la tensión presente en el terminal de puerta o reja de control y gradúa la conductancia del canal entre los terminales de Fuente y Drenador. De este modo, la corriente de salida en la carga conectada al Drenador (D) será función amplificada de la Tensión presente entre la Puerta (Gate) y Fuente (Source). Su funcionamiento es análogo al del triodo, con la salvedad que en el triodo los equivalentes a Puerta, Drenador y Fuente son Reja, Placa y Cátodo.

Los transistores de efecto de campo, son los que han permitido la integración a gran escala que disfrutamos hoy en día; para tener una idea aproximada, pueden fabricarse varios miles de transistores interconectados por centímetro cuadrado y en varias capas superpuestas.

3.2 Los orígenes de la Guerra Fría 1945-1947

La Gran Alianza que había derrotado al Eje en una cruel guerra de casi seis años se rompió en el corto plazo de unos meses. La guerra fría entre Estados Unidos y el bloque que dirigirá y la URSS y sus aliados marcará la escena internacional por casi medio siglo.



Ilustración 6: Imagen cómica acerca de la Guerra Fría

La efímera concordia

La ruptura no fue sin embargo inmediata ni inevitable. Roosevelt había soñado en Yalta un mundo en el que las dos superpotencias que surgían de la guerra, los EE.UU. y la URSS, pudiera colaborar pese a representar sistemas económicos, políticos e ideológicos tan diferentes. Stalin necesitaba la cooperación de las otras grandes potencias para reconstruir su país y contaba con la colaboración norteamericana para la cuestión de las reparaciones alemanas.

Además, el espíritu general de los pueblos europeos era de un profundo anhelo de renovación y justicia social. El triunfo de los laboristas de Atlee en el Reino Unido y el que los comunistas obtuvieran más del 25% de los votos en Francia e Italia o el 38% en Checoslovaquia mostraban a las claras la popularidad de las fuerzas de izquierda que en las zonas ocupadas por los nazis habían llevado el peso de la resistencia.

Por un momento se pensó que la colaboración era posible. El mejor lo constituía Checoslovaquia: tras las elecciones de 1946, el presidente de la República, Edvard Benes, representante de la mejor tradición liberal y democrata europea, formaba un gobierno de unión nacional en el que un tercio de los ministros eran comunistas.

Las potencias vencedoras mantuvieron también por poco tiempo diversas acciones comunes: los Juicios de Nüremberg que significaron el juicio y condena de los altos dignatarios nazis acusados de crímenes contra la humanidad o los tratados de paz de

París firmados en 1947 con los antiguos aliados de Alemania e Italia son ejemplos de ello.

1946: El creciente enfrentamiento

El ambiente enrarecido que ya se había empezado a respirar en la Conferencia de Potsdam terminó por aflorar claramente en 1946.

En enero se produjo un primer encontronazo en la ONU cuando la delegación iraní protestó por la prolongación de la ocupación soviética de sus provincias septentrionales, continuación que violaba un acuerdo firmado por los Aliados durante la guerra. La dura reacción norteamericana consiguió que la URSS se retirara a los pocos meses.

En febrero, además de descubrirse una red de espías soviéticos en Canadá, Stalin pronunció un duro discurso en Moscú en el que no dudó en afirmar que el capitalismo y el comunismo eran "incompatibles" y que la URSS debía prepararse para un período de rearme.

Dos semanas después, George Kennan, experto en asuntos soviéticos del Departamento de Estado norteamericano, envió un telegrama a Washington. Este telegrama, de dieciséis páginas, contenía un análisis demoledor: la Unión Soviética era un estado irrevocablemente hostil a Occidente que continuaría con su política expansionista.

El 5 de marzo de 1946, Churchill visitó los EE.UU. y pronunció un célebre discurso en la universidad de Fulton, en el estado de Missouri. El veterano político británico consagró allí la expresión "telón de acero" para referirse a la frontera que separaba a la Europa dominada por el ejército soviético del resto.

Como una réplica al telegrama de Kennan, el embajador soviético en Washington, Nikolai Novikov, envió también un largo telegrama a Moscú en septiembre. En él afirmaba que los EE.UU. buscaban dominar el mundo y estaban preparando una guerra para ello. Los telegramas de los enviados diplomáticos eran una buena prueba del creciente deterioro de las relaciones entre los antiguos aliados.

El año 1946 supuso el fin del entendimiento entre los aliados. Aunque los partidos comunistas occidentales participaban aún en gabinetes de coalición en países como Francia y como Italia, dos guerras civiles enfrentaban a comunistas y conservadores en Grecia y China, y la tensión entre las administraciones de ocupación occidentales y soviética en Alemania era creciente.

1947: El año de la ruptura

El año 1947 marca el fin definitivo de la antigua alianza. En una Europa en la que la reconstrucción no ha comenzado aún, el hambre y el descontento social son el contexto en el que crece y crece la desconfianza entre antiguos Aliados. Mientras los países occidentales desconfían del expansionismo soviético en las zonas donde el Ejército Rojo se ha asentado, los soviéticos se quejan de que los occidentales no envían a la URSS la parte correspondiente de las reparaciones que debían extraerse en sus zonas de ocupación, dificultando la recuperación de una URSS en ruinas.

El año se inició con una clara violación soviética de los acuerdos de Yalta en lo referido a Polonia. Las elecciones se celebraron en enero y tuvieron lugar en un ambiente de falta de libertad y arbitrariedad que permitió el triunfo de los candidatos comunistas.

La Doctrina Truman

En febrero de 1947 una alarmante nota del gobierno británico llegó a Washington. En ella se informaba a Truman y a su nuevo Secretario de Estado, George Marshall, de que el gobierno de Londres era incapaz de continuar apoyando al gobierno conservador de Atenas en su lucha contra las guerrillas comunistas griegas. También comunicaba en la nota que Gran Bretaña era incapaz de seguir ayudando financieramente a Turquía.

Los norteamericanos reaccionaron vivamente a esta nueva amenaza. Conscientes de que las zonas bajo dominio soviético eran "irrecuperables", optan por implicarse activamente en la defensa del sur y del oeste del continente. En un discurso pronunciado el 12 de marzo en el Congreso, Truman no solo demandó la aprobación

de una ayuda de 400 millones de dólares para Grecia y Turquía, sino que se sentó una verdadera doctrina de política exterior, la Doctrina Truman. Afirmando que EE.UU. ayudaría a cualquier gobierno que hiciera frente a la amenaza comunista, el presidente norteamericano proclama la voluntad de su país de aplicar una política de contención del comunismo ("*containment*").

Esta nueva voluntad estadounidense tenía su principal desafío en Europa occidental. Aquí la recuperación tras la devastación de la guerra estaba siendo muy lenta o inexistente, lo que favorecía la agitación y la propaganda comunista. Francia e Italia tenían poderosos partidos comunistas que podrían ser la base de la expansión soviética al occidente del continente. El nuevo ambiente de enfrentamiento provocó la expulsión de los ministros comunistas que participaban en gobiernos de coalición en París, Roma y Bruselas en el período de marzo a mayo de 1947.

El Plan Marshall

Esta medida no era, sin embargo, suficiente. Para contener al comunismo era necesario poner las condiciones económicas que impidieran su expansión. Así, el 5 de junio de 1947 en un discurso en la universidad de Harvard, el Secretario de Estado, George Marshall, anunció el Programa de Recuperación Europeo (*European Recovery Program*), conocido popularmente como el Plan Marshall.



Ilustración 7: George Marshall

Se trataba de un masivo programa de generosa ayuda económica para Europa. Aunque el Plan servía claramente a los intereses diplomáticos y de potencia de EE.UU., lo que Churchill calificó, quizá exageradamente, como "el acto menos sórdido de la historia", supuso una extraordinaria inyección de ayuda económica que permitió la acelerada recuperación de Europa occidental.

Washington ofreció la ayuda a todos los países europeos, aunque determinó que para recibirla era necesario crear mecanismos de colaboración económica entre los beneficiarios. Este hecho precipitó la negativa de Stalin a aceptar el Plan, forzando a los países que habían caído bajo su esfera de influencia a rechazar la ayuda. El Plan Marshall vino a dividir a Europa en dos: la occidental que va a iniciar un rápido crecimiento económico y la oriental, sometida a la URSS, y que va a tener grandes dificultades de desarrollo. La excepción a esta regla fue la España de Franco, a la que se negó la ayuda por el carácter fascista de su régimen político.

A la vez que EE.UU. lanzaba esta masiva operación de ayuda, la administración de Truman creó los instrumentos institucionales de la guerra fría al aprobar en julio de 1947 la Ley de Seguridad Nacional, por la que se creaban la CIA y el Consejo de Seguridad Nacional.

La respuesta soviética

La URSS, que había obligado al gobierno checoslovaco a renunciar al Plan Marshall tras haberlo aceptado, reaccionó en septiembre de 1947 creando la Kominform (Oficina de Información de los Partidos Comunistas y Obreros). Este organismo tenía como finalidad coordinar y armonizar las políticas de los partidos comunistas europeos.

En la reunión constitutiva de la Kominform, el representante soviético, Andrei Jdanov, emite lo que se ha venido en conocer como la Doctrina Jdanov: en ella se constata la división del mundo en dos bloques y la necesidad de que los países de lo que él denominó el "campo antifascista y democrático" siguieran el liderazgo de Moscú.

La ruptura se había consumado.

3.3 William Bradford Shockley

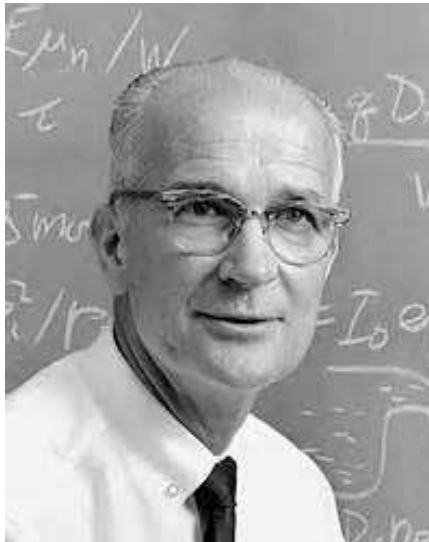


Ilustración 8: William Bradford Shockley

William Bradford Shockley nació en Londres el 13 de febrero de 1910, aunque sus padres eran norteamericanos y solo 3 años después de su nacimiento se lo llevaron a vivir a Palo Alto, California. Su padre era un ingeniero y su madre una topógrafa de minas.

Considerando que le podrían dar a su hijo una mejor educación en casa, los Shockley mantuvieron a William sin ir a la escuela hasta que cumplió ocho años. Aunque su educación probaría más tarde ser de excelente nivel, este aislamiento hizo que el pequeño William tuviera muchos problemas para adaptarse a su entorno social. La madre de William le enseñaba matemáticas, y ambos padres le motivaban sus intereses científicos, aunque una influencia particularmente importante para él en esos días fue su vecino Perley A. Ross, que era profesor de física en Stanford. A los 10 años de edad, William visitaba constantemente la casa de Ross, y jugaba con las dos

hijas del profesor. Shockley pasó 2 años en la Academia Militar de Palo Alto antes de ingresar a la Preparatoria de Hollywood en Los Ángeles. Durante un corto tiempo asistió también a la Escuela de Entrenamiento de los Ángeles, en la que estudió física.

Fue ahí donde descubrió que tenía un talento innato para esa disciplina: solía encontrar con cierta facilidad para resolver problemas que diferían de las soluciones tradicionales que proporcionaban sus maestros.

Pese a ser el mejor estudiante de física de su escuela, Shockley se decepcionó al no recibir el premio en esta disciplina al graduarse, pues este le fue negado por haber tomado clases de física en otra escuela. En el otoño de 1927 ingresó en la Universidad de California en Los Ángeles, pero tras solo un año ahí ingresó al prestigioso Instituto de Tecnología de California (Cal Tach), en Pasadena. William terminó su licenciatura en física en 1932, y posteriormente obtuvo una beca para estudiar en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), de donde se doctoró en 1936. Después de doctorarse, Shockley tenía ofertas para trabajar en General Electric y la Universidad de Yale, pero eligió los laboratorios Bell de Murray Hill, New Jersey, porque eso le permitiría colaborar con C.J. Davison, cuyo trabajo en la difracción de los electrones le valdría para obtener el premio Nobel. A su entrada en laboratorios Bell, Shockley tuvo cortas estancias en diferentes departamentos a fin de que pudiera adquirir un conocimiento tecnológico más general. Posteriormente, se unió al departamento de tubos de vacío, encabezado por Davisson. Una preocupación del director de investigación de Laboratorios Bell de aquella época (Mervin J. Kelly) era que con los años crecería la demanda del sistema telefónico, y que los relés relevadores no serían suficientes, por lo que creía que debía hallarse una manera de controlar el equipo telefónico de manera electrónica. Esa conversación tuvo una gran influencia sobre Shockley, a pesar de que Kelly pensaba erróneamente que los tubos de vacío serían los sustitutos de los relevadores.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Shockley no se involucró en física en lo más mínimo. Abandonó temporalmente Laboratorios Bell para servir como director de investigación del Grupo Anti-Submarinos de Investigación de Operaciones de Guerra entre 1942 y 1944, y como asesor experto para la Oficina de la Secretaría de Guerra en 1944 y 1945. En la estación de campo de Bell en Whippany, New Jersey, realizó el

diseño electrónico de equipo de radar. Shockley obtuvo la condecoración civil más elevada de la época: la Medalla al Mérito. La mayor parte de sus contribuciones tuvieron que ver con el uso del radar en los bombarderos B-29.

Shockley regresó a Laboratorios Bell después de la Segunda Guerra Mundial, para continuar con su trabajo en física del estado sólido, con la esperanza de encontrar una alternativa a los tubos de vacío, usando ahora los nuevos descubrimientos en física cuántica, que lo motivaron a investigar los intrigantes semiconductores. En julio de 1945 Shockley se convirtió co-director del programa de investigación en física del estado sólido. El trabajo realizado a principios de los 40s por Russell S. Ohl (otro empleado de Laboratorios Bell) en los semiconductores convenció a Shockley que debía ser posible producir una nueva forma de amplificación usando la física del estado sólido. De hecho, ya en 1939 Shockley había intentado producir, junto con Walter Brattain (un investigador veterano de Laboratorios Bell) un amplificador de este tipo usando óxido de cobre, pero sin tener éxito.

Fue John Bardeen el que logró descifrar el enigma, y en 1947 logró construir junto con Brattain el primer amplificador funcional usando germanio. John R. Pierce fue el que acuñó el nombre para la nueva invención. Propuso "amplister" y "transistor", pero acabó por seleccionar el segundo porque el dispositivo operaba transfiriendo corriente de una entrada de baja resistencia a una salida de alta resistencia, por lo que tenía la importante propiedad de *transferir resistencia*. En 1948, Bardeen y Brattain obtuvieron una patente por este tipo de transistor (llamado de contacto puntual). Las contribuciones de Shockley se acentuaron por el hecho de que todas las fotografías de los inventores del transistor lo incluían a él, y de las 10 personas asociadas con dicho invento, a él se le suele considerar históricamente como el más importante.

Aunque el nuevo invento causó revuelo, la verdad es que no resultó fácil hacerlo trabajar de manera consistente, y por ende su comercialización no fue inmediata. Fue Shockley quien inventó un tipo de transistor más depurado (llamado transistor de unión) que permitió su producción en masa. En 1948 lo patentó y en 1950 escribió un libro sobre la teoría detrás del nuevo dispositivo, y lideró al equipo que construyó el primer transistor de unión confiable en 1951.

Los Laboratorios Bell acordaron otorgar licencias para el uso del transistor a cualquier firma a cambio de un pago de regalías. Sólo los fabricantes de aparatos para la sordera no tenían que pagar dichas regalías, como un tributo a la memoria de Alexander Graham Bell, que en vida ayudó tanto a los sordos. Los transistores fueron usados por el público por primera vez en 1953, en la forma de amplificadores para los aparatos contra la sordera. En 1954 se desarrolló la radio de transistores y en febrero de 1956 el Laboratorio de Computadoras Digitales del MIT empezó a desarrollar en colaboración con IBM una computadora transistorizada. En 1957 y 1958 UNIVAC y Philco produjeron las primeras computadoras comerciales de transistores.

Shockley fue nombrado Director de Investigación de la Física de los Transistores en Laboratorios Bell en 1954. En ese mismo año y en el siguiente fue profesor visitante del Cal Tech, además de actuar también como director del Grupo de Evaluación de Sistemas de Armamento del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Aunque los científicos de Laboratorios Bell rara vez abandonan sus puestos, Shockley decidió independizarse en 1955, y fundó el Laboratorio de Semiconductores Shockley en una ladera de Mountain View, al sur de Palo Alto, California. Inicialmente, estaba afiliado a Beckman Laboratories, un conocido fabricante de instrumentos científicos. Shockley decidió comercializar los transistores, y para ello logró contratar a 8 de los mejores científicos de la costa este: Julius Blank, Victor Grinich, Eugene Kleiner, Jean Hoerni, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce y Sheldon Roberts.

La mañana del 1 de noviembre de 1956 un periodista sueco le telefoneó a Shockley para decirle que se había hecho acreedor al Premio Nobel de Física por el invento del transistor junto con John Bardeen y Walter Brattain. Sin embargo, la línea telefónica tenía tanta interferencia que Shockley apenas alcanzó a entender lo que le dijo el reportero, y pensó que sus amigos le estaban jugando una broma. Fue hasta más tarde cuando oyó la noticia en la radio.

La empresa de Shockley fue el origen de lo que hoy se conoce como el Valle del Silicio, y a pesar de lograr atraer a algunos de los científicos más connotados de su época, fracasó debido a su falta de tacto para con sus empleados. Por ejemplo, en su afán por tratar de evitar la existencia de secretos de la empresa, se le ocurrió colocar en lugares públicos los salarios de todos sus empleados, pero esto en vez de

motivarlos a trabajar más hizo que muchos se molestaran al sentir que algunos ganaban más por hacer lo mismo que ellos. En otra ocasión, los retrasos de un proyecto lo hicieron sospechar de sabotaje y obligó a uno de sus empleados a someterse a un detector de mentiras (prueba que éste pasó satisfactoriamente). El punto de quiebra vino en 1957, cuando sus ocho ingenieros principales se molestaron con él porque se negó a concentrarse en los transistores de silicio, que ellos creían que serían más fácil de comercializar que los de germanio. Ante la negativa de Shockley, los "ocho traidores", como él los llamaría después, decidieron renunciar y fundaron su propia empresa, llamada Fairchild Semiconductor, que recibió apoyo financiero del industrial Sherman Fairchild. El tiempo le daría la razón a los empleados de Shockley y eventualmente la mayor parte de las firmas de semiconductores del Valle del Silicio se derivarían a la exitosa Fairchild Semiconductor.

Shockley hubo de vender su empresa a Clevite Transistor en abril de 1960, quedándose como asesor. En 1958 comenzó a dar clases en Stanford, y en 1963 fue nombrado el primer Presor Alexander M. Poniatoff de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Como científico, hizo todavía varias aportaciones más a la electrónica y campos afines, y llegó a acumular más de 90 patentes a lo largo de su vida. En 1965 regresó a Laboratorios Bell como asesor de tiempo parcial, y se retiró de ese empleo en febrero de 1975, y de Stanford en septiembre del mismo año.

Murió el 12 de agosto de 1989 en el campus de Stanford.

3.4 John Bardeen



Ilustración 9: John Bardeen

Nació en Madison, Wisconsin (EE.UU) en 1908. Su padre era catedrático de anatomía y Decano de la Facultad de Medicina de la Universidad de Wisconsin. Se graduó en Ingeniería Eléctrica en esta Universidad en 1929. En el año anterior realizó estudios de Mecánica Cuántica en Wisconsin, con los profesores Van Vleck y Dirac. Al acabar su carrera trabajó en Pittsburgh durante tres años (1930-33) como Geofísico en los laboratorios de investigación Gulf realizando prospección de pozos petrolíferos y asistiendo en la Universidad de Pittsburgh a diversos seminarios sobre Mecánica Cuántica. Se fue después a la Universidad de Princeton para realizar su doctorado en Física Matemática bajo la dirección de Eugene Wigner. La tesis doctoral era sobre física del estado sólido que leyó en el año 1936. Entre los años 1935 y 1938 trabajó en la universidad de Harvard con el profesor Percy Bridgman en temas de conducción eléctrica en metales. Al año siguiente fue contratado como profesor en la Universidad de Minnesota, Minneapolis, en la que permanecería hasta el año 1941. Durante la Segunda Guerra Mundial trabajó como Físico en la Armada americana estudiando la desmagnetización de los buques.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en 1945, ingresó en los Laboratorios Bell, en los que, bajo la dirección de Mervin J. Kelly, se había iniciado un área de

investigación dedicada al estudio de las propiedades de conducción de los semiconductores, con la intención de sustituir las válvulas por componentes de estado sólido. Aquí se juntó con Walter Brattain y Gerald Pearson, excelentes físicos de laboratorio que completaron la formación teórica de Bardeen. Inicialmente estos tres científicos repasaron los cálculos de los dispositivos de efecto de campo (que ya eran conocidos en esa época) y por sugerencia de Bardeen escribieron un famoso artículo en la *Physical Review* (N.º 71 del año 1947), en el que señalaba que los estados superficiales del germanio o el silicio inmovilizaban los portadores de carga impidiendo la conducción y amplificando el efecto de campo.

Las investigaciones de Bardeen contribuyeron al rápido progreso en el ámbito de la electrónica y condujeron a la invención y perfeccionamiento del transistor, que por sus muchas ventajas reemplazó a las válvulas termoiónicas. La Academia de Ciencias de Suecia, que le otorgo el premio Nobel en 1956, junto con Walter Brattain y William Shockley, por sus estudios sobre los transistores, indicó que era merecedor del galardón por su "investigaciones sobre los semiconductores y el descubrimiento del efecto del transistor".

Bardeen dejó los laboratorios Bell el año 1951 y fue contratado como catedrático de Ingeniería Eléctrica y de Física por la Universidad de Illinois, en Urbana, trabajando en este centro el resto de su vida. En el año 1952 Bardeen creó un centro de investigación en esta universidad para trabajar en temas de semiconductores y en superconductividad. La superconductividad la había descubierto Heike Kammerling-Onnes en Holanda en 1911, pero no tenía una explicación clara, aunque habían trabajado en ella grandes físicos como Felix Bloch, Niels Bohr, Richard Feynman, Werner Heisenberg, Lev Landau, Fritz London y Wolfgang Pauli. Esto da idea de la importancia del problema y del genio de Bardeen de cómo debía explicarse el fenómeno. Bardeen, tras exhaustivas investigaciones, logro desentrañar sus complejos y anómalos comportamientos; demostró que las cargas negativas de electrones en un superconductor, en lugar de dispersar su energía e ímpetu a través de colisiones casuales, se ordenan y actúan de manera complementaria, moviéndose coherentemente en la misma dirección y velocidad. John Bardeen y sus compañeros N. Cooper y John R. Schrieffer, tras cinco años de estudios, elaboraron, en 1957, la teoría

BCS de la superconductividad (iniciales de los apellidos de los tres científicos) y fue por este trabajo por lo que Bardeen recibió un segundo premio Nobel de Física en 1972. Ha sido hasta ahora el único científico que ha recibido dos premios Nobel en Física (Madame Curie recibió un Premio Nobel en Química y otro en Física), en Medalla Stuart Ballantine del Instituto Franklin en 1952, el Premio John Scott y medalla de la ciudad de Filadelfia en 1955, Medalla Nacional de Ciencias de EEUU en 1965, Medalla de Honor del IEEE en 1971, por el descubrimiento del transistor y la teoría microscópica de la superconductividad. Recibió varios doctorados *Honoris Causa* de diversas universidades americanas.

Falleció en Boston, Massachusetts, en 1991.

3.5 *Walter Brattain*



Ilustración 10: Walter Brattain

Brattain nació en Amoy (China), en 1902, aunque creció en el estado norteamericano de Washington. Llevó a cabo su preparación académica en las universidades de Oregón y Minnesota, obtuvo el doctorado en Ciencias. En este mismo año ingresó en los Laboratorios Bell. Su vida profesional incluye el desempeño de

diversos cargos en el National Bureau of Standards de Estados Unidos, en los laboratorios de la Compañía Telefónica Bell y en la Universidad de Columbia. Su objetivo principal de investigación fue, en sus primeros años, analizar las propiedades superficiales de los sólidos; en particular, hizo aportaciones importantes en relación a la emisión electrónica de las lámparas con filamento de wolframio, que era de gran importancia en la incipiente industria de las válvulas de radio. Continuó después con el estudio de la rectificación en las superficies del óxido de cobre, y más tarde con los materiales semiconductores de germanio y silicio.

Habiendo dedicado su actividad científica al campo de la investigación termoiónica y de los semiconductores, hizo notables aportaciones para el rápido progreso de la ciencia en el sector de la física de estados sólidos, y junto con sus colaboradores Shockley y Bardeen, pudo crear el transistor. Los principios físicos en que este se funda eran conocidos desde los comienzos de la radiotelefonía; pero el perfeccionamiento que hizo posible su empleo culminó en 1948, cuando los tres científicos estadounidenses, tras arduos experimentos e investigaciones, pudieron crear el llamado *transistor de punto de contacto*. El empleo de este tipo de transistor, que se generalizó a partir de 1952, representa uno de los más notables progresos en electrónica y constituye uno de los grandes avances científicos de este siglo.

En 1956, le fue concedido el premio Nobel de Física, honor que compartió con sus compatriotas, doctores William B. Shockley y John Bardeen, por sus trabajos así como por sus perfeccionamientos. Brattain recibió el grado de Doctor *Honoris Causa* por la Universidad de Portland en 1952, de la Union College en 1955 y de la Universidad de Minnesota en 1957. En 1952 recibió el Premio Stuart Ballantine del Instituto Franklin y la Medalla John Scott en 1955 por el descubrimiento del transistor. Brattain fue miembro de la Academia de Ciencias de EE. UU., del Instituto Franklin y de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia. Fue también profesor adjunto en la Universidad de Whitman entre 1967 y 1972. Se le atribuyen gran número de patentes en el campo de la Electrónica y escribió multitud de artículos sobre física del estado sólido.

Murió el 13 de octubre de 1987 en Seattle.

3.6 El transistor bipolar

El transistor bipolar es un dispositivo de tres terminales -emisor, colector y base-, que, atendiendo a su fabricación, puede ser de dos tipos: NPN y PNP. En la ilustración 11 se encuentran los símbolos de circuito y nomenclatura de sus terminales. La forma de distinguir un transistor de tipo NPN de un PNP es observando la flecha del terminal de emisor. En un NPN esta flecha apunta hacia fuera del transistor; en un PNP la flecha apunta hacia dentro. Además, en funcionamiento normal dicha flecha indica el sentido de la corriente que circula por el emisor del transistor (ilustración 11).

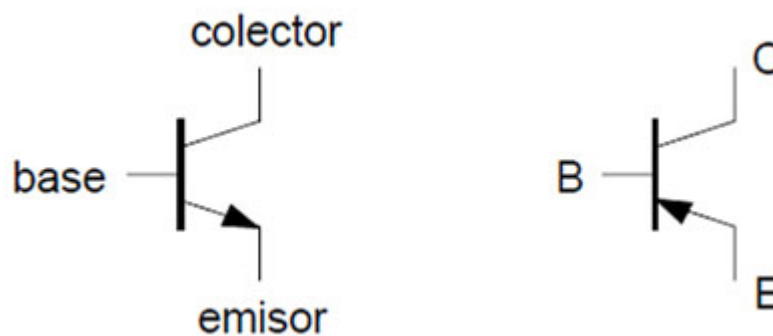


Ilustración 11: Transistor NPN y PNP

En general se definen una serie de tensiones y corrientes en el transistor, como las que aparecen en las ilustraciones 12 y 13.

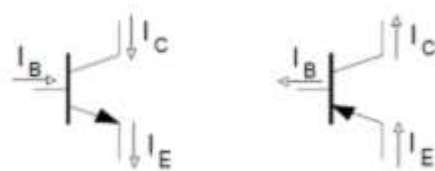


Ilustración 12: Corrientes

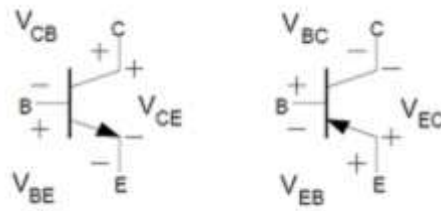


Ilustración 13: Tensiones

Estructura física

El transistor bipolar es un dispositivo formado por tres regiones semiconductoras, entre las cuales se forman unas uniones (uniones PN). En la ilustración 14 observamos el aspecto útil para análisis de un transistor bipolar. Siempre se ha de cumplir que el dopaje de las regiones sea alterno, es decir, si el emisor es tipo P, entonces la base será tipo N y el colector tipo P. Esta estructura da lugar a un transistor bipolar tipo PNP. Si el emisor es tipo N, entonces la base será P y el colector N, dando lugar a un transistor bipolar tipo NPN. El transistor se fabrica sobre un sustrato de silicio, en el cual se difunden impurezas⁸, de forma que se obtengan las tres regiones antes mencionadas. En la ilustración 15 vemos el aspecto típico de un transistor bipolar real, de los que se encuentran en cualquier circuito integrado. Sobre una base *n* (sustrato que actúa como colector), se difunden regiones *p* y *n+*, en las que se ponen los contactos de emisor y base.

⁸ Donadoras o aceptadoras, según el tipo P o N que se pretenda obtener

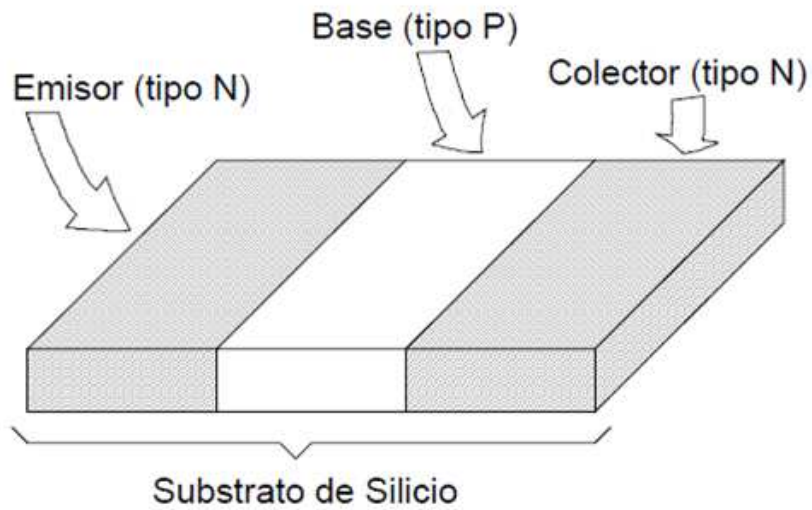


Ilustración 14: Estructura de un TRT bipolar

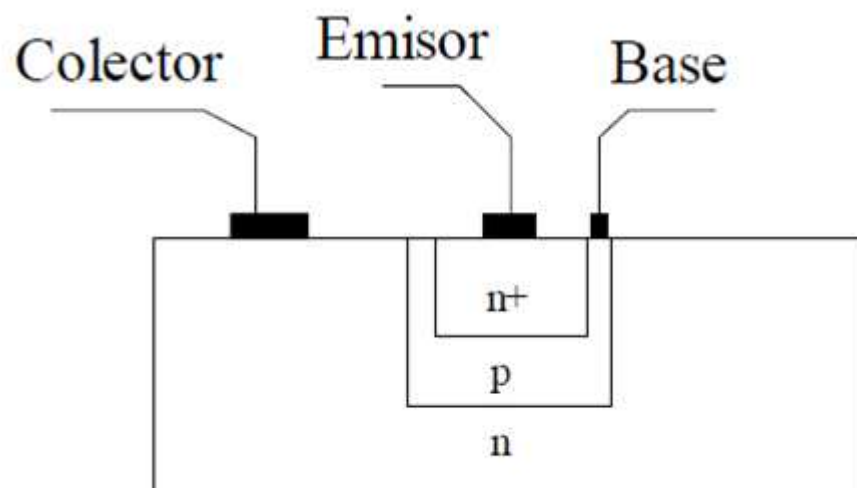


Ilustración 15: Estructura real de un TRT

Es de señalar que las dimensiones reales del dispositivo son muy importantes para el correcto funcionamiento del mismo. Obsérvese la ilustración 16, en ella se pretende dar una idea de las relaciones de tamaño que deben existir entre las tres regiones para que el dispositivo cumpla su misión.

- El **emisor** ha de ser una región muy dopada (de ahí la indicación $P+$). Cuanto más dopaje tenga el emisor, mayor cantidad de portadores podrá aportar a la corriente.
- La **base** ha de ser muy estrecha y poco dopada, para que tenga lugar poca recombinación en la misma, y prácticamente toda la corriente que proviene de emisor pase a colector. Además, si la base no es estrecha, el dispositivo puede no comportarse como un transistor, y trabajar como si de dos diodos en oposición se tratase.
- El **colector** ha de ser una zona menos dopada que el emisor. Las características de esta región tienen que ver con la recombinación de los portadores que provienen del emisor.

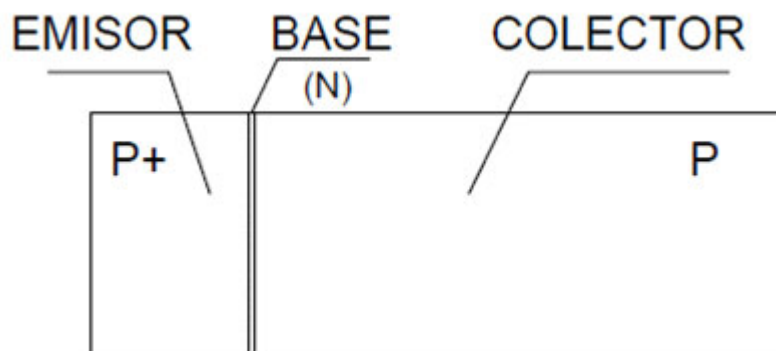


Ilustración 16: Dimensiones de un TRT

Por último, en la ilustración 17 vemos el resto de componentes de un transistor bipolar, que son los contactos metálicos y los terminales.

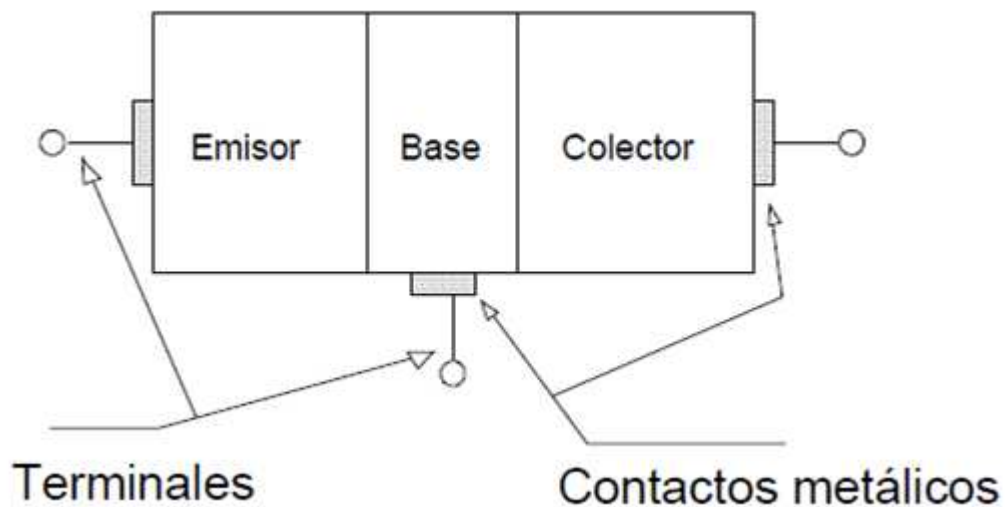


Ilustración 17: TRT + terminales

Funcionamiento del transistor

El transistor bipolar es un dispositivo de tres terminales gracias al cual es posible controlar una gran potencia a partir de una pequeña. En la ilustración 18 se puede ver un ejemplo cualitativo del funcionamiento del mismo. Entre los terminales de colector (C) y emisor (E) se aplica la potencia a regular, y en el terminal de base (B) se aplica la señal de control gracias a la que controlamos la potencia. Con pequeñas variaciones de corriente a través del terminal de base, se consiguen grandes variaciones a través de los terminales de colector y emisor. Si se coloca una resistencia se puede convertir esta variación de corriente en variaciones de tensión según sea necesario.

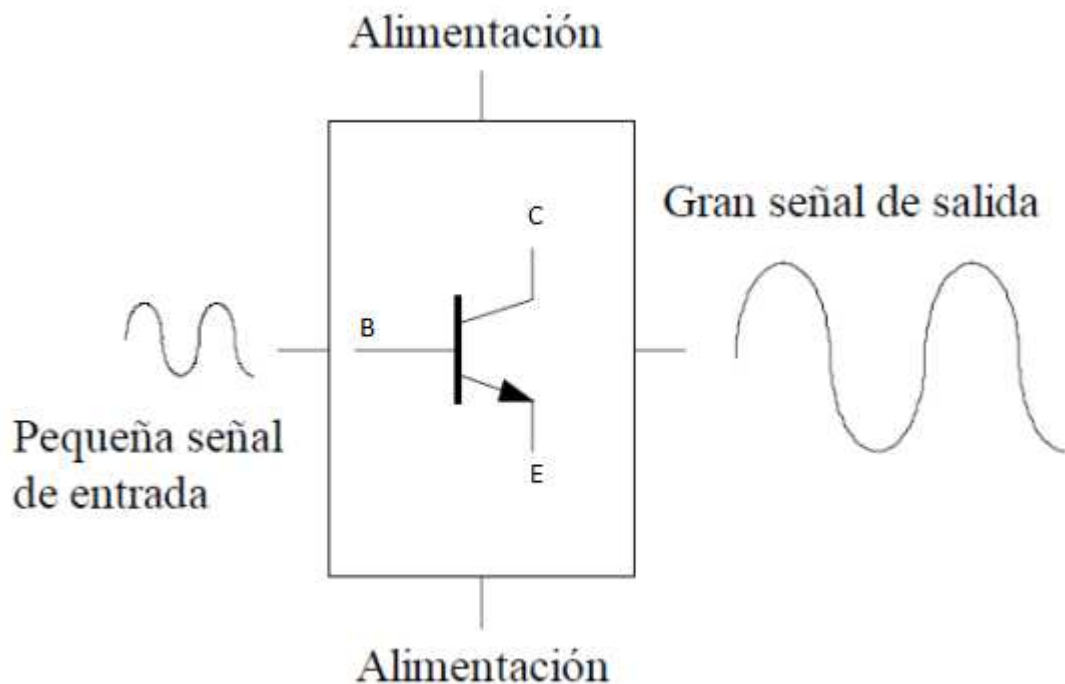


Ilustración 18: Ejemplo de funcionamiento

Regiones de funcionamiento

Corte

Cuando el transistor se encuentra en corte no circula corriente por sus terminales. Concretamente, y a efectos de cálculo, decimos que el transistor se encuentra en corte cuando se cumple la condición: $I_E = 0$ ó $I_E < 0$ (Esta última condición indica que la corriente por el emisor lleva sentido contrario al que llevaría en funcionamiento normal). Para polarizar el transistor en corte basta con no polarizar en directa la unión base-emisor del mismo, es decir, basta con que $V_{BE}=0$.

Activa

La región activa es la normal de funcionamiento del transistor. Existen corrientes en todos sus terminales y se cumple que la unión base-emisor se encuentra polarizada en directa y la colector-base en inversa.

En general, y a efectos de cálculo, se considera que se verifica lo siguiente:

$$V_{BE} = V_{\gamma}$$
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

donde V_{γ} es la tensión de conducción de la unión base-emisor (en general 0,6 voltios).

Saturación

En la región de saturación se verifica que tanto la unión base-emisor como la base-colector se encuentran en directa. Se dejan de cumplir las relaciones de activa, y se verifica sólo lo siguiente:

$$V_{BE} = V_{BE_{sat}}$$
$$V_{CE} = V_{CE_{sat}}$$

donde las tensiones base-emisor y colector-emisor de saturación suelen tener valores determinados (0,8 y 0,2 voltios habitualmente). Es de señalar especialmente que cuando el transistor se encuentra en saturación circula también corriente por sus tres terminales, pero ya no se cumple la relación: $I_C = \beta \cdot I_B$

Los años posteriores a la invención del transistor

Los diez años posteriores a la invención del primer transistor vieron enormes adelantos en este campo:

- Se inventaron distintos tipos de transistores (de punto, de unión, de campo), basados en distintas propiedades básicas;
- Se emplearon distintos materiales, inicialmente el germanio (1948) y posteriormente el silicio (1954), el cual domina la industria semiconductora de la actualidad;

- Se logró construir una gran cantidad de transistores, otros elementos y los circuitos para acoplarlos directamente sobre una oblea de silicio, a lo que se le dio el nombre de circuito integrado (1958).

En estos primeros circuitos integrados, los transistores tenían dimensiones típicas de alrededor de 1 cm. En 1971 el microprocesador de Intel 4004 tenía unos 2.000 transistores, mientras que hoy en día, un "viejo" Pentium IV tiene unos 10 millones de transistores, con dimensiones típicas de alrededor de 0.00001 cm. Desde 1970, cada año y medio, aproximadamente, las dimensiones de los transistores se fueron reduciendo a la mitad (Ley de Moore). Si se los hace aún más pequeños, usando la tecnología actual, dejarán de funcionar como esperamos, ya que empezarán a manifestarse las leyes de la mecánica cuántica. Para seguir progresando, se ha concebido una nueva generación de microprocesadores basados en las propiedades que la materia manifiesta a escala nanométrica.

Todos estos desarrollos respondieron en cada caso al intento de resolver un problema concreto atacado tanto del punto de vista teórico como experimental. Muchos de los físicos que participaron en esta aventura del transistor y en sus desarrollos posteriores dieron lugar al nacimiento de nuevas invenciones (y de empresas como Texas Instruments, Intel y AMD) que hoy día dominan la escena en la que se desarrollan las tecnologías de información y comunicaciones.

3.7 Transistores de campo FET

El transistor de efecto de campo FET⁹ es un dispositivo de tres terminales que se utiliza para aplicaciones diversas que se asemejan, en una gran proporción, a las del *transistor BJT*¹⁰. Aunque existen importantes diferencias entre los dos tipos de

⁹ Field Effect Transistor

¹⁰ Bipolar Junction Transistor

dispositivos, también es cierto que tienen muchas similitudes que se presentarán a continuación.

La diferencia básica entre los dos tipos de transistores es el hecho de que el transistor BJT es un dispositivo *controlado por corriente* como se describe en la ilustración 19, mientras que el transistor JFET es un dispositivo controlado por tensión como se muestra en la figura 20. En otras palabras, la corriente I_C de la ilustración 19 es una función directa del nivel de I_B . Para el FET la corriente I_D será una función del voltaje V_{GS} aplicado al circuito de entrada como se muestra en la ilustración 20. En cada caso, la corriente del circuito de salida está controlada por un parámetro del circuito de entrada: en un caso se trata de un nivel de corriente y en el otro de un voltaje aplicado.

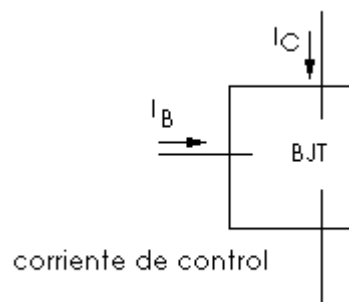


Ilustración 19: Amplificador controlado por corriente

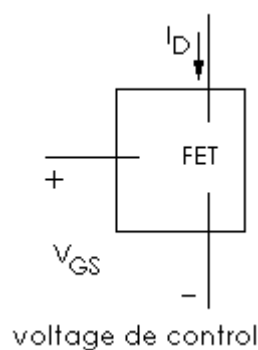


Ilustración 20: Amplificador controlado por tensión

De la misma manera que existen transistores bipolares NPN y PNP, hay transistores de efecto de campo de canal N y canal P. Sin embargo, es importante considerar que el transistor BJT es un dispositivo bipolar; el prefijo bi indica que el nivel de conducción es una función de dos portadores de carga, los electrones y los huecos. El FET es un dispositivo unipolar que depende únicamente de la conducción o bien, de electrones (canal N) o de huecos (canal P).

El término "efecto de campo" en el nombre seleccionado merece cierta explicación.

Toda la gente conoce la capacidad de un imán permanente para atraer limaduras de metal hacia el imán sin la necesidad de un contacto real. El campo magnético del imán permanente envuelve las limaduras y las atrae al imán por medio de un esfuerzo por parte de las líneas de flujo magnético con objeto de que sean lo más cortas posibles. Para el FET un campo eléctrico se establece mediante las cargas presentes que controlarán la trayectoria de conducción del circuito de salida, sin la necesidad de un contacto directo entre las cantidades controladoras y controladas.

Existe una tendencia natural cuando se presenta un segundo dispositivo con un rango de aplicaciones similares a uno que se dio a conocer previamente, para comparar algunas de las características generales de cada uno. Uno de los rasgos más importantes del FET es una *gran impedancia de entrada*. A un nivel desde 1 a varios cientos de megaohms excede en mucho los niveles típicos de resistencia de entrada de las configuraciones con transistor BJT. Por otro lado, el transistor BJT tiene una sensibilidad mucho más alta a los cambios en la señal aplicada, es decir, la variación en la corriente de salida es obviamente mucho mayor para el BJT que la que produce en el FET para el mismo cambio de voltaje aplicado. Por esta razón, las ganancias normales de voltaje en corriente alterna para los amplificadores a BJT son mucho mayores que para los FET. En general los FET son más estables a la temperatura que los BJT, y los primeros son por lo general más pequeños en construcción que los BJT, lo cual los hace mucho más útiles en los circuitos integrados. Sin embargo, las características de construcción de algunos FET los pueden hacer más sensibles al manejo que los BJT.

3.8 Aparición del MOSFET y su tecnología

El principio básico de operación de este tipo de transistor fue patentado por primera vez por el austrohúngaro Julius Edgar Lilienfeld en 1925. Debido a los requerimientos de carácter tecnológico para la fabricación de la intercara lisa y libre de defectos entre el sustrato dopado y aislante, este tipo de dispositivos no se logró fabricar hasta décadas más tarde, pero los fundamentos teóricos estaban contenidos en la patente original. Veinticinco años después, cuando la Bell Telephone Company intentó patentar el transistor de unión, encontraron que Lilienfeld tenía registrada a su nombre una patente que estaba escrita de una forma que incluía todos los tipos de transistores posibles. Los Laboratorios Bell lograron llegar a un acuerdo con Lilienfeld, quien todavía vivía en esa época (no se sabe si le pagaron por los derechos de la patente o no). Fue en ese momento cuando los Laboratorios Bell crearon el transistor de unión bipolar, o simplemente transistor de unión, y el diseño de Lilienfeld fue conservado con el nombre de transistor de efecto de campo.

En 1959, Dawon Kahng y Martin M. Atalla en los Laboratorios Bell inventaron el transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET¹¹) como un avance y mejora sobre el diseño del transistor FET patentado.

Con una operación y estructura completamente distintas al transistor bipolar de unión, el transistor MOSFET fue creado al colocar una capa aislante en la superficie de un semiconductor y luego colocando un electrodo metálico de compuerta sobre el aislante. Se utiliza silicio cristalino para el semiconductor base, y una capa de dióxido de silicio creada a través de oxidación térmica, se utiliza como aislante. El MOSFET de silicio no generaba trampas de electrones localizados entre la interfaz entre el silicio y la capa de óxido nativo, y por este motivo se veía libre de la dispersión y el bloqueo de portadores que limitaba el desempeño de los transistores de efecto de campo anteriores. Después del desarrollo de cuartos limpios para reducir los niveles de contaminación, y del desarrollo de la fotolitografía así como del proceso planar que permite construir circuitos en muy pocos pasos, el sistema Si-SiO₂ obtuvo gran

¹¹ Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

importancia debido a su bajo costo de producción por cada circuito, y la facilidad de integración. Adicionalmente, el método de acoplar dos MOSFET complementarios (de canal N y canal P) en un interruptor de estado alto/bajo, conocido como CMOS, implicó que los circuitos digitales disiparan una cantidad muy baja de potencia, excepto cuando son conmutados. Por estos tres factores, los transistores MOSFET se han convertido en el dispositivo utilizado más ampliamente en la construcción de circuitos integrados.

Daremos una explicación simplificada sobre la construcción y funcionamiento interno de estos semiconductores. En general podemos decir que tienen más importancia comercial que los JFET¹² y amplia aplicación en los circuitos integrados digitales de muy alta densidad de integración. Básicamente, están constituidos por un sustrato de base tipo-P o tipo-N, ligeramente dopados con impurezas, en el que se difunden dos regiones de tipo-N+ o tipo-P+, fuertemente dopadas, que actúan como “drenador” y “surtidor”, separados unos 10 a 20µm. Sobre la superficie se deposita una fina capa aislante de dióxido de silicio (Si O₂) (1.000-2.000 Å). Sobre la superficie de la estructura se practican ventanas para permitir el contacto del drenador y el surtidor. Posteriormente, se cubre la región entera del canal con una superficie metálica que hace a la vez de “puerta”. El área metálica de la “puerta”, conjuntamente con la capa de dióxido de silicio y el canal semiconductor, forma un condensador de placas planas paralelas.

¹² Junction Field Effect Transistor

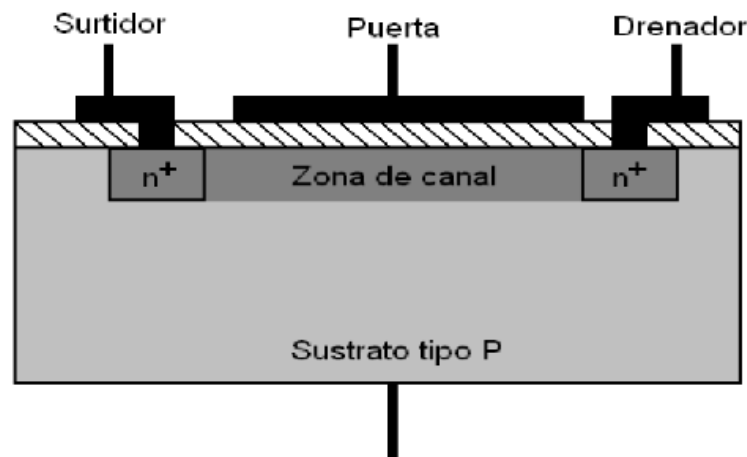


Ilustración 21: Transistor MOS

La placa aislante proporciona una resistencia de entrada, extremadamente alta. Las zonas que forman el drenador y el surtidor están fuertemente dopadas, a los efectos de lograr una unión “resistiva” respecto al canal semiconductor. Veamos un dibujo simplificado de la estructura de un transistor MOS, implantado sobre un circuito integrado monolítico (ilustración 21).

3.9 Transistor IGBT

El transistor IGBT¹³ es un dispositivo de compuerta aislada. Tiene una estructura interna similar a la de un MOSFET, pero en el lado del drenador (colector) tiene una juntura P-N, la cual inyecta portadores minoritarios en el canal cuando el IGBT está en estado de conducción y de esta manera se reduce considerablemente la disipación de potencia.

¹³ Insulated Gate Bipolar Transistor

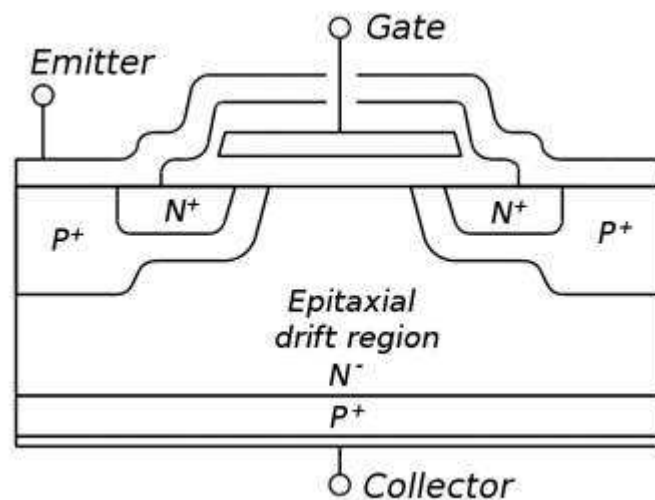


Ilustración 22: Transistor bipolar de puerta aislada

Debido a esta estructura, el IGBT exhibe una mezcla de propiedades del MOSFET y el transistor bipolar. Estas son:

MOSFET

- Compuerta controlada por tensión.
- La capacidad de entrada debe ser cargada y descargada durante el encendido y el apagado del dispositivo.
- Peligro de avería o daños debido a cargas electro estáticas.

BIPOLAR

- Tensión de saturación poco dependiente de la corriente de colector.
- La resistencia en estado de conducción no se incrementa con la temperatura, por lo tanto tiene bajas pérdidas.
- Luego del apagado los portadores minoritarios necesitan un tiempo para la recombinación, el cual resulta en una corriente inversa.

- No tiene diodo parásito.

Debido a la capa adicional tipo P, el IGBT tiene en la zona entre colector y el emisor una estructura de cuatro capas, formando un tiristor parásito. Este tiristor puede disiparse a corrientes altas de colector y en esta condición el IGBT no podría bloquearse por su compuerta.

Capítulo 4 :

El circuito integrado

4.1 Introducción¹⁴



Ilustración 23: Circuito Integrado

¹⁴ El desarrollo del capítulo “El circuito Integrado” está recogido de:

www.es.wikipedia.org, www.monografias.com/trabajos25/plan-estabilizacion, Sala blanca para procesos de deposición y litografía de materiales y nano materiales (Jordi Castañé Sanchez) (Universidad Autónoma de Barcelona), Genios de la ingeniería eléctrica (Jesús Fraile Mora), alt1040.com/2012/13/historia-de-la-tecnología-robert-noyce, Los circuitos integrados (Gonzalo Pinto Guevara) (universidad Nacional de Chimborazo), www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/semiconductores/AIS_SEM_MET.pdf, www.fisicauva.galeon.com/aficiones1925813.html, materiales.fi.uba.ar/7206/Semic.pdf, bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/10/sec_6.html, www.ifent.org/lecciones/semiconductores/intrinsecos.asp, www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/enlace-metales/semiconductores, www.asifunciona.com/fisica/ke_semiconductor/ke_semiconductor_4.htm, Revista de la sociedad española de mineralogía (Manuel Regueiro y González-Barros) (nº11, sep 09), blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2007/11, www.tutonostra.com/glosario/fotolitografia.htm, alt1040.com/2012/04/historia-de-la-tecnologia-gordon-moore, es.scribd.com/doc/29204063/Ley-de-Moore, www.cad.com.mx/historia_de_intl.htm.

Un circuito integrado (CI), también conocido como chip o microchip, es una pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos generalmente mediante fotolitografía y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o cerámica. El encapsulado posee conductores metálicos apropiados para hacer conexión entre la pastilla y un circuito impreso.

Los circuitos integrados se encuentran en todos los aparatos electrónicos modernos, como automóviles, televisores, reproductores de CD, reproductores de MP3, teléfonos móviles, computadoras, etc.

El desarrollo de los circuitos integrados fue posible gracias a descubrimientos experimentales que demostraron que los semiconductores pueden realizar algunas de las funciones de las válvulas de vacío.

La integración de grandes cantidades de diminutos transistores en pequeños chips fue un enorme avance sobre el ensamblaje manual de los tubos de vacío (válvulas) y en la fabricación de circuitos electrónicos utilizando componentes discretos.

La capacidad de producción masiva de circuitos integrados, su confiabilidad y la facilidad de agregarles complejidad, llevó a su estandarización, reemplazando diseños que utilizaban transistores discretos, y que pronto dejaron obsoletas a las válvulas o tubos de vacío.

Son tres las ventajas más importantes que tienen los circuitos integrados sobre los circuitos electrónicos contruidos con componentes discretos: su menor costo; su mayor eficiencia energética y su reducido tamaño. El bajo costo es debido a que los CI son fabricados siendo impresos como una sola pieza por fotolitografía a partir de una oblea, generalmente de silicio, permitiendo la producción en cadena de grandes cantidades, con una muy baja tasa de defectos. La elevada eficiencia se debe a que, dada la miniaturización de todos sus componentes, el consumo de energía es considerablemente menor, a iguales condiciones de funcionamiento que un homólogo fabricado con componentes discretos. Finalmente, el más notable atributo es su reducido tamaño en relación a los circuitos discretos; para ilustrar esto: un circuito

integrado puede contener desde miles hasta varios millones de transistores en unos pocos milímetros cuadrados.

Los avances que hicieron posible el circuito integrado han sido, fundamentalmente, los desarrollos en la fabricación de dispositivos semiconductores a mediados del siglo XX y los descubrimientos experimentales que mostraron que estos dispositivos podían reemplazar las funciones de las válvulas o tubos de vacío, que se volvieron rápidamente obsoletos al no poder competir con el pequeño tamaño, el consumo de energía moderado, los tiempos de conmutación mínimos, la confiabilidad, la capacidad de producción en masa y la versatilidad de los CI.

Entre los circuitos integrados más complejos y avanzados se encuentran los microprocesadores, que controlan numerosos aparatos, desde computadoras hasta teléfonos móviles y hornos microondas.

Los chips de memorias digitales son otra familia de circuitos integrados, de importancia crucial para la moderna sociedad de la información. Mientras que el costo de diseñar y desarrollar un circuito integrado complejo es bastante alto, cuando se reparte entre millones de unidades de producción, el costo individual de los circuitos integrados por lo general se reduce al mínimo. La eficiencia de los CI es alta debido a que el pequeño tamaño de los chips permite cortas conexiones que posibilitan la utilización de lógica de bajo consumo (como es el caso de CMOS), y con altas velocidades de conmutación.

A medida que transcurren los años, los circuitos integrados van evolucionando: se fabrican en tamaños cada vez más pequeños, con mejores características y prestaciones, mejoran su eficiencia y su eficacia, y se permite así que mayor cantidad de elementos sean empaquetados en un mismo chip. Al tiempo que el tamaño se reduce, otras cualidades también mejoran (el costo y el consumo de energía disminuyen, a la vez que aumenta el rendimiento).

Aunque estas ganancias son aparentemente para el usuario final, existe una feroz competencia entre los fabricantes para utilizar geometrías cada vez más delgadas. Este

proceso, y lo esperado para los próximos años, está muy bien descrito por la International Technology Roadmap for Semiconductors.

Solo ha transcurrido medio siglo desde que se inició su desarrollo y los circuitos integrados se han vuelto casi omnipresentes. Computadoras, teléfonos móviles y otras aplicaciones digitales son ahora partes de las sociedades modernas. La informática, las comunicaciones, la manufactura y los sistemas de transporte, incluyendo Internet, todos dependen de la existencia de los circuitos integrados. De hecho, muchos estudiosos piensan que la revolución digital causada por los circuitos integrados es uno de los sucesos más significativos de la historia de la humanidad.

Las estructuras de los microchips se volvieron más y más pequeñas.

Los fabricantes tuvieron éxito al duplicar el número de transistores en un chip cada 18 meses, tal como lo predijo la ley de Moore. Sin embargo, a medida que los tamaños se han reducido a escalas de átomos, los fabricantes se están acercando cada vez más a los límites de la miniaturización.

Ha llegado el tiempo de probar aproximaciones completamente nuevas. Para esto, los investigadores están actualmente buscando soluciones tales como el uso de pequeños "mini tubos de carbón", los cuales esperan utilizar en los microchips del futuro.

4.2 1958

Después de la Segunda Guerra Mundial, el mundo occidental continuó con su acelerado desarrollo. El comercio internacional y el PBI de la mayoría de los países se incrementaron rápidamente. También, en esta época, los países europeos comienzan el avance en los procesos de cooperación económica. Con los antecedentes del Benelux y de la Comunidad Europea del Carbón y el Acero (CECA), el 25 de marzo de 1957 se firma el Tratado de Roma, que crea, a partir del primer día de 1958, la Comunidad Económica Europea (CEE). Inicialmente, participan de esta iniciativa Alemania, Francia, Italia, Bélgica, Holanda y Luxemburgo. Con este tratado se daba

comienzo a las tres fases previstas: la creación de una unión aduanera, la conformación de una comunidad económica, para llegar, finalmente, a la integración política.



Ilustración 24: Bandera de la Comunidad Económica Europea (CEE)

Estos seis países acuerdan una rebaja de aranceles para el intercambio entre ellos, y fijan un arancel externo común para las importaciones desde otras naciones. De esta manera, el proceso comienza a apartarse de los planes estadounidenses, lo cual deriva, al poco tiempo en una creciente competencia entre dicho país y la CEE, que continúa hasta nuestros días.

Mientras tanto, el Reino Unido comienza a ver caer su participación en el comercio internacional, al tiempo que la libra esterlina perdía terreno como moneda de reserva frente al dólar y la cohesión del Commonwealth se debilitaba. Por el contrario, la CEE era el escenario de un gran crecimiento económico. Esto lleva a Gran Bretaña a solicitar su incorporación en julio de 1961, seguida de Irlanda, Dinamarca y Noruega. Sin embargo, esta incorporación iba a ser vetada por Francia, que consideraba que la orientación política británica no era esencialmente europea, sino que apuntaba hacia el Atlántico, es decir, Estados Unidos.

Uno de los puntos fundamentales de la estrategia de la CEE era la Política Agrícola Común, que serviría para fijar precios comunes, que no serían establecidos por el

mercado mundial, sino más altos y establecidos por la Comunidad, de tal forma de garantizar a los agricultores europeos una renta suficiente. Este sistema requería, además, el establecimiento de un control sobre las importaciones de productos agrarios provenientes de otras regiones. Esta política comenzó a generar dudas en los círculos de poder norteamericano, quienes comenzaron a ver en la CEE a un enemigo contra su poder.

Estados Unidos, por su parte, buscaron reintegrar a Japón a la economía mundial como forma de contener el avance de los países comunistas del Extremo Oriente. Sin embargo, los mecanismos flexibles establecidos en el comercio entre EE.UU. y Japón, se vieron deteriorados por la intensificación de la política proteccionista japonesa y al control de cambios e inversiones extranjeras. De esta manera, Japón demostraba que no seguiría las pautas del capitalismo occidental.

Dentro del bloque socialista, los diversos países habían continuado con el modelo soviético, promoviendo una industrialización autónoma donde el comercio exterior era visualizado como secundario. Sin embargo, en 1949, como respuesta al Plan Marshall, la Unión Soviética, Bulgaria, Hungría, Polonia, Rumania y Checoslovaquia crearon el Consejo para la Ayuda Económica Mutua (COMECON), al que se sumaron Albania y Alemania Oriental. Tras la muerte de Stalin, en 1953, el comercio exterior comenzó a ser visto como prioritario para la cooperación entre los países socialistas.

Este periodo está marcado, además, por el fin del colonialismo (sobre todo en África), que dio paso a gobiernos nacionales que intentaron un mayor desarrollo económico. De esta manera, la industrialización fue alcanzando a varias naciones nuevas, aunque también provocaron guerras y conflictos, la mayor parte de las veces promovidos por las mismas ex metrópolis coloniales.

Muchos países subdesarrollados se vieron afectados por la Política Agrícola Común de la CEE, la cual reducía la capacidad exportadora en esos mercados. Ya en 1955, como consecuencia de estas políticas de los países más desarrollados, se había realizado en Bandung la primera Conferencia del recientemente fundado Movimiento de Países No Alineados.

Ante estas nuevas presiones de los países periféricos, la ONU organizó, en 1962, la Conferencia para el Comercio y el Desarrollo (UNCTAD), institucionalizándola como órgano de la Asamblea General de las Naciones Unidas. El primer encuentro de la UNCTAD se realizó entre marzo y junio de 1964 en Ginebra, y los debates tomaron como base un documento del economista argentino Raúl Prebisch referido a una nueva política comercial internacional al servicio del desarrollo económico. Las ideas de Prebisch sirvieron como fundamento para el intento de proyectos de integración económica entre los países de América Latina, que cristalizaron en 1961 con la creación de la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALC), cuyo objetivo apuntaba a compensar el reducido tamaño de los mercados nacionales que trababa las estrategias de sustitución de importaciones de sus miembros.

Sin embargo, los resultados obtenidos fueron pobres: el comercio intrarregional no se incrementó en términos globales y se concentró en los sectores tradicionales, con lo cual su influencia en los procesos de desarrollo económico nacionales fue de poca relevancia. La sucesora de la ALALC, la ALADI. No implicó un cambio de fondo de la estrategia de integración ni de su impacto macroeconómico.

Uno de los puntos más importantes del periodo bajo estudio, es la flexibilización del orden bipolar: tanto los Estados Unidos como la URSS no planteaban ya sus problemas como en los comienzos de la Guerra Fría. A esta nueva situación se la llamó "coexistencia pacífica", visualizada como una nueva percepción de la capacidad destructiva de los arsenales atómicos de ambas naciones. Estos cambios comenzaron con la presidencia de Eisenhower en los Estados Unidos y de Nikita Krushev en la URSS, lo cual generó una mayor flexibilidad en el juego político mundial.

Por esta época comenzaron, también, las primeras rupturas dentro del bloque comunista, a saber: el conflicto chino-soviético y los diferentes alzamientos en Europa Oriental (1956 en Hungría y 1968 en Checoslovaquia). Además, la llamada "crisis de Berlín" culminó en la construcción en 1961 del Muro, que dividiría a Berlín, a Europa y al mundo hasta 1989.

En el caso de América Latina, el cambio más importante fue la Revolución Cubana de enero de 1959, que fue tomando una posición cada vez más cercana al marxismo y

contraria a la política hemisférica de los Estados Unidos, los cuales comenzaron a hostigar al gobierno de Fidel Castro hasta aislarlo de sus vecinos latinoamericanos, provocando el inhumano bloqueo económico (que ya dura más de cuarenta años) y la expulsión de Cuba de la OEA.

4.3 Jack Kilby



Ilustración 25: Jack Kilby

En abril de 1949, el ingeniero alemán Werner Jacobi completa la primera solicitud de patente para circuitos integrados con dispositivos amplificadores de semiconductores. Jacobi realizó una típica aplicación industrial para su patente, la cual no fue registrada.

Más tarde, la integración de circuitos fue conceptualizada por el científico de radares Geoffrey W.A. Dummer (1909-2002), que estaba trabajando para la Royal

Universidad Politécnica de Madrid

Radar Establishment del Ministerio de Defensa británico, a finales de la década de 1940 y principios de la década de 1950.

Pero el ingeniero que cabe destacar como el "padre" del circuito integrado es Jack Kilby.

Jack St. Clair Kilby nació el ocho de noviembre de 1923 en Jefferson City (EEUU). Su juventud la pasó en Great Bend, una población del estado de Kansas. Después de superar sus estudios de grado medio con excelentes calificaciones estudió ingeniería eléctrica en las universidades de Wisconsin e Illinois.

Ingresó, en 1941, en la Universidad de Illinois para estudiar Ingeniería Electrónica, pero tuvo que interrumpir su Carrera en 1943, en plena Segunda Guerra Mundial, para hacer el servicio militar en Birmania. Después de la guerra volvió a Illinois completando su BSEE y consiguiendo, en 1950, su título de Ingeniero Electrónico en la Universidad de Wisconsin. Estando en el ejército se dio cuenta de que la tecnología electrónica debía cambiar; por ejemplo, el equipo electrónico que llevaba el cazabombardero B-29 requería 1.000 válvulas. El descubrimiento del transistor a finales de 1947 fue providencial para Kilby, ya que ingresó en este mismo año en la empresa Centralab Division of Globe Union de Milwaukee, donde trabajó en el diseño y desarrollo de circuitos híbridos de capa delgada y transistores; once años más tarde, trabajando en la tecnología de transistores de difusión, se cambió a la compañía Texas Instrument, que le facilitaba una mayor ayuda económica para sus investigaciones.

Debido a que se incorporó recientemente a la empresa, Kilby no tenía vacaciones como el resto del personal. Trabajó solo en el laboratorio, por lo que vio la oportunidad de encontrar una solución al problema de la "miniaturización" de circuitos. La idea de Kilby era hacer que todos los componentes estuvieran sobre un mismo bloque (monolito) hecho de material semiconductor. Cuando el resto de los trabajadores regresaron de sus vacaciones, Kilby presentó su nueva idea a sus superiores. Se le permitió construir una versión de prueba de su circuito. En septiembre de 1958 tuvo su primer circuito integrado listo. Fue probado y funcionó perfectamente.

El circuito integrado que construyó fue el oscilador más pequeño del mundo, de una frecuencia de 1,33 Mz; una semana más tarde preparó un biestable o flip-flop; antes de final de año había construido resistencias y condensadores mediante difusión. La compañía Texas Instrument anunció, el 6 de febrero de 1959, el descubrimiento del circuito sólido, hoy circuito integrado (patente americana número 138.743). En 1964 el Director de la Texas Instrument, Patric Haggerty, propuso a Kilby que trabajara en el diseño de una calculadora electrónica de bolsillo. El proyecto se completó en tres años, pero no se sacó al mercado hasta 1971. La patente tenía el número 3.819.921 y llevaba el nombre de Kilby. Aunque el primer circuito integrado fue bastante primitivo y tenía algunos problemas, la idea era pionera. Al hacer que todas las piezas que fueran de un mismo bloque de material y añadiendo el metal necesarios para conectarlos como una capa en la parte superior de la misma, no había necesidad de más componentes. No sería necesario montar mas cables y componentes manualmente. Los circuitos serían más pequeños y el proceso de fabricación podría ser automatizado. El circuito integrado de Kilby es probablemente su invención mas famosa, por lo que recibió el Premio Nobel de Física en el año 2000. Medio año después, Robert Noyce desarrollo su propia idea del circuito integrado. El circuito Noyce solucionaba varios problemas prácticos que el circuito de Kilby presentaba, sobre todo el problema de la interconexión de todos los componentes en el chip. Esto se hizo mediante la adición de metal como una capa final. Esto hizo que el circuito integrado fuera más adecuado para la producción en masa. Además de ser uno de los padres del circuito integrado, Robert Noyce también fue uno de los fundadores de Intel. Intel es uno de los mayores fabricantes de circuitos integrados en el mundo

En 1970 Kilby dejó la Texas Instruments¹⁵ y se estableció por su cuenta como consultor privado, y también daba clases en la Universidad de Texas. Tenía en su haber

¹⁵ Texas Instruments, más conocida en la industria electrónica como TI, es una empresa norteamericana con sede en Dallas (Texas, EE. UU.) que desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología para ordenadores. TI es el tercer mayor fabricante de semiconductores del mundo tras Intel y Samsung y es el mayor suministrador de circuitos integrados para teléfonos móviles. Igualmente, es el mayor productor de procesadores digitales de señal y semiconductores analógicos. Otras áreas de actividad incluyen circuitos integrados para módem de banda ancha, periféricos para ordenadores, dispositivos digitales de consumo y RFID.

cerca de 50 patentes y también multitud de premios y medallas. En el año 1982 fue elegido para la Galería de la Fama de los inventores americanos.

En 1980 se retiró oficialmente como asesor de Texas Instrument aunque su colaboración se mantuvo hasta su muerte en el verano de 2005.

4.4 Robert Noyce



Ilustración 26: Robert Noyce

Robert Norton Noyce (12 de diciembre de 1927 – 3 de junio de 1990) nació en Burlington (Iowa) en el seno de una familia vinculada a la Iglesia congregacional (su padre era pastor) y desde que asistía a la escuela mostró gran interés en las ciencias, las matemáticas y la física (con poco más de 12 años construyó un pequeño aeroplano, una radio y un trineo motorizado). En su último año de secundaria, Robert Noyce se especializó en Física y optó por cursar dichos estudios en la Universidad (comenzando en el Grinnel College en 1945). En 1949, Noyce se graduó en Ciencias Físicas y Matemáticas en la Grinnel College, un lugar que marcaría un punto de inflexión en su carrera puesto que fue donde vio por primera vez un transistor y, a raíz de su estupenda relación con el profesor Grant O. Gale, decidió continuar sus estudios de doctorado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Tras finalizar sus estudios de doctorado, su primer contacto con el mundo laboral fue en 1953 como investigador en la Philco Corporation en Filadelfia donde permanecería hasta 1956, momento en el que entraría en contacto con una de las figuras claves en el campo de la electrónica, William Shockley. Noyce se mudó a Mountain View (California), un enclave alrededor del cual crecería el Silicon Valley que hoy en día conocemos, y allí comenzó a trabajar junto a once jóvenes doctores a las órdenes de Shockley en el desarrollo de dispositivos semiconductores. Las desavenencias del equipo con su jefe llevaron a ocho de estos jóvenes a plantearse volar en solitario y estos ocho, que se conocerían como los "ocho traidores" emprenderían la aventura de fundar una de las primeras empresas dedicadas a la fabricación de dispositivos semiconductores: Fairchild Semiconductor.

Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Eugene Kleiner, Jay Last, Sheldon Roberts, Robert Noyce y Gordon Moore fundaron la compañía contando con un capital de 3.500 dólares y tras buscar financiación encontraron un socio que les permitió arrancar la compañía en octubre de 1957 y desarrollando el primer circuito integrado en 1958.



Ilustración 27: "Los ocho traidores"

En 1968, Moore y Noyce decidieron abandonar Fairchild Semiconductor para afrontar un nuevo proyecto también vinculado al mundo de los semiconductores: Intel Corporation. Intel fue fundada el 18 de julio de 1968 como Integrated Electronics Corporation, un nombre que no fue la primera opción que barajaron y que, como estaba registrado por una cadena hotelera, tuvieron que comprar a los propietarios de esa marca. De hecho, la primera opción fue "Moore Noyce", pero como sonaba mal pensaron en NM Electronics, un nombre que usaron durante un año antes de adoptar el de Intel.

Arthur Rock fue el presidente de la junta de Intel dado que fue el principal inversor de la misma y, según afirmó, se embarcó en el proyecto gracias a los tres pilares que lo sustentaban: Noyce, visionario nacido para inspirar, Moore, virtuoso de la tecnología, y Andrew Grove, el técnico reconvertido en científico de la gestión y que sería el primer empleado de la compañía.

Noyce era un visionario pero, para los ejecutivos de la época, no era considerado un buen gestor porque trataba con familiaridad a los empleados y valoraba el trabajo en equipo y la iniciativa de los empleados en detrimento de los privilegios de los ejecutivos (no era partidario de los coches de empresa, aparcamientos reservados, aviones privados, oficinas ostentosas, etc). Si bien estos factores sirvieron para que los proyectos de la compañía fueran un éxito y se ganase el favor de los empleados, Andrew Grove pensaba más en maximizar beneficios y en la productividad por lo que solían existir fricciones entre ambos directivos

Siempre trabajó para promocionar la industria de los semiconductores de Estados Unidos; de hecho, durante sus últimos años en activo presidió un consorcio de catorce fabricantes y el gobierno de Estados Unidos para promover la industria americana frente a la japonesa.

Noyce recibió en 1987 la Medalla Nacional de Tecnología y el premio de la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos en 1989, la Medalla Stuart Ballantine del Instituto Franklin en 1966, la Medalla de Honor del IEEE en 1978, la Medalla Nacional de Ciencias en 1979 y, coincidiendo con su 84 cumpleaños, Google le dedicó un Doodle especial.

Se dice que cuando era pequeño jugó en una ocasión al tenis de mesa con su padre y Noyce le ganó. Su madre le dijo que su padre le había dejado ganar y, al escuchar eso, se enfadó y le contestó con una frase que puede resumir muy bien su vida y su legado: *¡Si vas a jugar, juega para ganar!*

El 3 de junio de 1990, Noyce sufrió un ataque al corazón en su casa, falleciendo poco después en el Centro Médico de Seton de Texas a la edad de 62 años.

4.5 La tiranía de los números

Con el transistor pequeño y efectivo en sus manos, los ingenieros de los años 50 vieron las posibilidades de construir circuitos mucho más avanzados que antes. Sin embargo, como la complejidad de los circuitos crecieron, empezaron los problemas.

Con la construcción de un circuito es muy importante que todas las conexiones están intactas. En caso contrario, la corriente eléctrica se detiene en su camino a través del circuito. Antes del circuito integrado, los trabajadores tuvieron que construir los circuitos a mano, para soldar cada componente en su lugar y su conexión con los cables de metal. Los ingenieros se dieron cuenta de que, de forma manual, el montaje de la gran cantidad de pequeños componentes necesarios, por ejemplo, un ordenador sería imposible, sobre todo sin generar alguna conexión anormal.

Otro problema fue el tamaño de los circuitos: por ejemplo, un circuito complejo, como un microprocesador, que depende de la velocidad. Si los componentes del equipo eran demasiado grandes o la interconexión de los cables largos, las señales eléctricas no pueden viajar con suficiente rapidez a través del circuito, con lo que el equipo era demasiado lento para ser eficaz.

Así que hubo un problema de números: circuitos avanzados en los que figuran tantos componentes y conexiones que eran prácticamente imposible de construir. Este problema se conoce como la “tiranía de los números”.

4.6 Semiconductores intrínsecos, extrínsecos y fotoconductividad

Los semiconductores son uno de los adelantos tecnológicos que más relevancia han tenido en este siglo, principalmente por haber permitido un desarrollo extremo de la electrónica general. Su antecesor, el tubo termoiónico o válvula de vacío es un dispositivo caro, grande, frágil, lento y que requiere un consumo de potencia no despreciable sólo para hacerlo funcionar. Con él nunca se hubiesen podido alcanzar niveles que a día de hoy nos parecen de lo más normal, como integrar decenas de millones de transistores en el tamaño de una uña, y esto se debe al bajo precio, reducido tamaño y bajo consumo que permite la tecnología de los semiconductores.

Las bandas energéticas de un átomo marcan los lugares donde es posible que se encuentren los electrones. Las bandas más próximas al átomo se llaman *bandas de valencia* y en ellas los átomos están fuertemente ligados al núcleo por fuerzas eléctricas. En el exterior la fuerza eléctrica es menor y además se ejerce la repulsión eléctrica de los electrones de la capa de valencia, por lo que en esta banda los electrones están débilmente ligados al átomo. Esta capa se denomina *capa de conducción*. En medio puede existir una banda denominada de *energía prohibida*, donde si hubiese un electrón inevitablemente caería a la capa de valencia (en caso de estar incompleta) o sería expulsado a la capa de conducción.

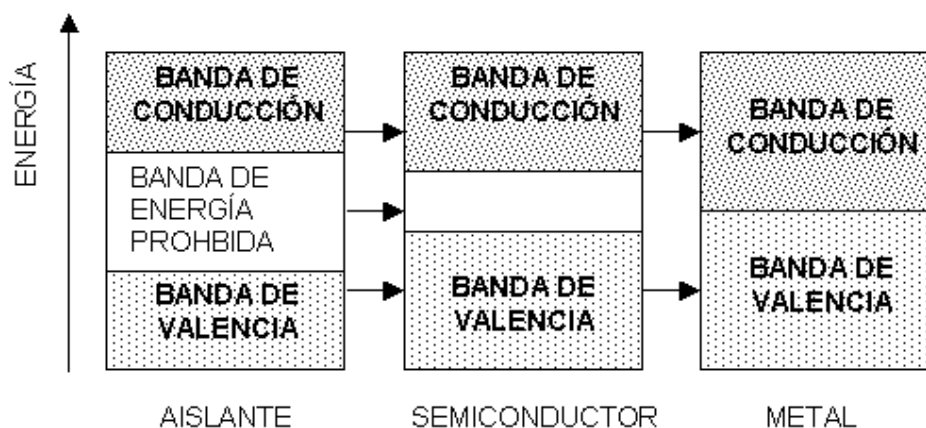


Ilustración 28: Bandas energéticas

Los semiconductores presentan un diagrama de bandas similar al de los sólidos aislantes pero con una separación entre las bandas de valencia y de conducción menor de 3.0 eV. En la tabla 1 se presentan las separaciones de bandas típicas para algunos aislantes y semiconductores.

ELEMENTO	SEPARACION ENTRE BANDAS (eV)	TIPO DE MATERIAL
Diamante	6.0	Aislante
Silicio	1.1	Semiconductor
Germanio	0.7	Semiconductor
Estaño gris	0.1	Semiconductor
Estaño Blanco	0	Metal
Plomo	0	Metal

Tabla 1: Separación entre bandas

4.7 Semiconductor intrínseco

Este otro tipo de semiconductor cuenta con cuatro electrones de valencia por átomo.

Los elementos semiconductores intrínsecos por excelencia son el silicio y el germanio, aunque existen otros elementos como el estaño, y compuestos como el arseniuro de galio que se comportan como tales.

Se dice que un semiconductor es intrínseco cuando se encuentra en estado puro, o sea, que no contiene ninguna impureza, ni átomos de otro tipo dentro de su estructura. En ese caso, la cantidad de huecos que dejan los electrones en la banda de

valencia al atravesar la banda prohibida será igual a la cantidad de electrones libres que se encuentran presentes en la banda de conducción.

Cuando se eleva la temperatura de la red cristalina de un elemento semiconductor intrínseco, algunos de los enlaces covalentes se rompen y varios electrones pertenecientes a la banda de valencia se liberan de la atracción que ejerce el núcleo del átomo sobre los mismos. Esos electrones libres saltan a la banda de conducción y allí funcionan como electrones de conducción, pudiéndose desplazar libremente de un átomo a otro dentro de la propia estructura cristalina, siempre que el elemento semiconductor se estimule con el paso de una corriente eléctrica.

Tomemos como ejemplo el silicio en su modelo bidimensional:

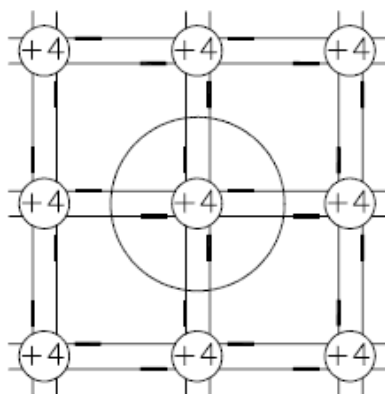


Ilustración 29: Enlaces covalentes todos completos

Vemos cómo cada átomo de silicio se rodea de sus cuatro vecinos próximos con lo que comparte sus electrones de valencia. A 0°K todos los electrones hacen su papel de enlace y tienen energías correspondientes a la banda de valencia. Esta banda estará completa, mientras que la de conducción permanecerá vacía: es cuando hablamos de que el conductor es un aislante perfecto. Ahora bien, si aumentamos la temperatura, aumentará por consiguiente la energía cinética de vibración de los átomos de la red, y algunos electrones de valencia pueden absorber de los átomos vecinos la energía suficiente para liberarse del enlace y moverse a través del cristal como electrones libres. Su energía pertenecerá a la banda de conducción y cuanto más elevada sea la

temperatura más electrones de conducción habrá, aunque ya a temperatura ambiente podemos decir que el semiconductor actúa como conductor.

Si un electrón de valencia se convierte en electrón de conducción deja una posición vacante, y si aplicamos un campo eléctrico al semiconductor, este hueco puede ser ocupado por otro electrón de valencia, que deja a su vez otro hueco. Este efecto es el de una carga $+e$ moviéndose en dirección del campo eléctrico. A este proceso se le denomina generación térmica de pares electrón-hueco. En la ilustración 30 podemos ver este proceso.

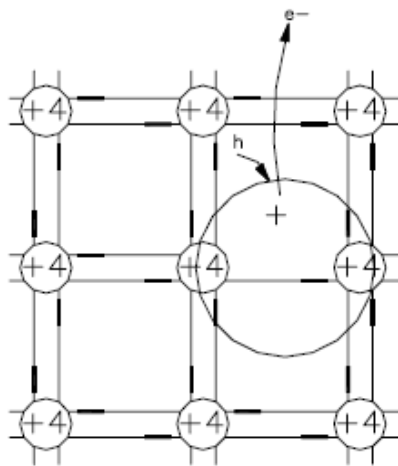


Ilustración 30: Consecuencia de la rotura de un enlace covalente

El átomo siempre tendrá la tendencia a estar en su estado normal, con todas sus cargas, por lo tanto en nuestro caso intentará atraer un electrón de otro átomo para rellenar el hueco que tiene.

Toda inyección de energía exterior produce pues un proceso continuo que podemos concretar en dos puntos:

- Electrones que se quedan libres y se desplazan de un átomo a otro.
- Aparición y desaparición de huecos en los diversos átomos del semiconductor.

Queda así claro que el único movimiento real existente dentro de un semiconductor es el de electrones. Lo que sucede es que al aparecer y desaparecer huecos, "cargas positivas", en puntos diferentes del semiconductor, parece que estos se mueven dando lugar a una corriente de cargas positivas. Este hecho, movimiento de huecos, es absolutamente falso. Los huecos no se mueven, sólo *parece que lo hacen*.

Paralelamente a este proceso se da el de recombinación. Algunos electrones de la banda de conducción pueden perder energía, y pasar a la de valencia ocupando un nivel energético que estaba libre, o sea, "recombinándose" con un hueco. A temperatura constante, se tendrá un equilibrio entre estos dos procesos, con el mismo número de electrones en la banda de conducción que el de huecos en la de valencia.

4.8 Semiconductor extrínseco

En el modelo visto anteriormente de semiconductor intrínseco teníamos que la cantidad de huecos y electrones de conducción están presentes en cantidades iguales.

Un semiconductor extrínseco es aquel en el cual el número de huecos y electrones no presentan la misma cantidad.

Los semiconductores extrínsecos están caracterizados por la presencia de impurezas que se agregan intencionadamente durante la fabricación, esto es, poseen elementos trivalentes o pentavalentes, o lo que es lo mismo, se dice que el elemento está *dopado*.

Según sean este tipo de impurezas podemos diferenciar dos tipos de semiconductores extrínsecos:

Tipo N (exceso de carga negativa)

Los semiconductores extrínsecos de la tabla de elementos son: fósforo, arsénico y antimonio.

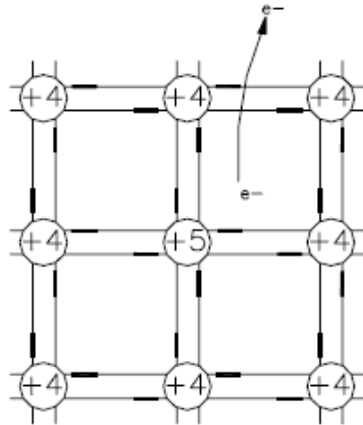


Ilustración 31: Agregado de un donante

Que sean elementos pentavalentes quiere decir que tienen cinco electrones en la capa de valencia, como se muestra en el átomo central de la ilustración 31, lo que hace que, al formarse la estructura cristalina, un electrón quede fuera de cualquier enlace covalente, quedándose en un nivel superior al de los otros cuatro, en la capa de conducción.

Como consecuencia de la temperatura, es decir, cuando se pasa a temperatura ambiente además de la formación de los pares electron-hueco, se liberan los electrones que no se han unido pasando a la banda de conducción moviéndose por el semiconductor.

Como ahora en el semiconductor existe un mayor número de electrones que de huecos, se dice que los electrones son los portadores mayoritarios, y a las impurezas se les llama donadoras. En cuanto a la conductividad del material, esta aumenta de una forma muy elevada; por ejemplo, introduciendo sólo un átomo donador por cada 1.000 átomos de silicio, la conductividad es 24.100 veces mayor que la del silicio puro. No se rompen enlaces.

Tipo P (exceso de carga positiva)

Los semiconductores extrínsecos de la tabla de elementos son: boro, indio, aluminio y galio.

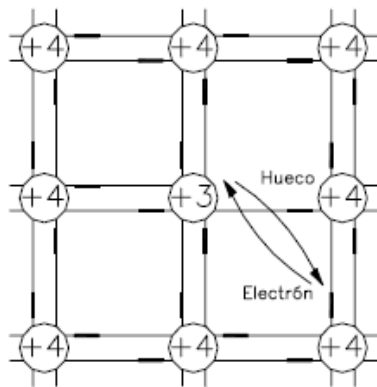


Ilustración 32: Agregado de un aceptor

Este otro tipo de semiconductor cuenta con tres electrones de valencia por átomo.

Estos átomos igual que antes encajan en la estructura cristalina periódica del semiconductor anfitrión. Así pues, a temperatura ambiente, en la estructura habrá un hueco asociado a cada átomo aceptor (impureza aceptora), igual que antes éste hueco está débilmente unido al átomo aceptor, como se muestra en la ilustración 32, y se mueve libremente por el semiconductor. Aquí tampoco se rompen enlaces.

Para aumentar la conductividad de un semiconductor se le suele dopar o añadir átomos de impurezas a un semiconductor intrínseco; un semiconductor dopado es un semiconductor extrínseco.

4.9 Conductividad eléctrica y dependencia con la temperatura

La característica principal de un semiconductor es que su conductividad eléctrica aumenta con la temperatura. A temperatura ambiente, los semiconductores presentan conductividades eléctricas intermedias entre la de los metales y la de los aislantes.

Los semiconductores están caracterizados por una banda prohibida, muy estrecha, del orden de 1 eV. A una temperatura de 0°K, todos los electrones que ocupan los niveles más altos de energía se encuentran en la banda de valencia. Por tanto, a 0°K la banda de valencia está llena y la banda de conducción está vacía. Como una banda llena no contribuye al mecanismo de conducción (y una vacía tampoco), los semiconductores se comportan como un aislante en el cero absoluto. Al aumentar la temperatura, los electrones adquieren energía térmica y, ayudados por la energía que puede proporcionarles un campo eléctrico, adquieren la siguiente energía para saltar a la banda de conducción y aumentar la densidad de portadores de carga.

4.10 Fotoconductividad

Fotoconductividad es la tendencia de una sustancia para conducir la electricidad hasta un punto que depende de la intensidad de la luz-energía radiante (por lo general la transmisión por infrarrojos o luz visible) que choca con la superficie de una muestra. La mayoría de los materiales semiconductores tienen esta propiedad.

Cuando no hay iluminación, una muestra de fotoconductores tiene una conductividad que depende de sus dimensiones, del material específico de la que se hace y de la temperatura. En la mayoría de los casos, cuanto mayor es la energía radiante de una determinada longitud de onda que incide en la superficie, mayor es la conductancia de la muestra, hasta un máximo determinado. Cuando la conductancia máxima se alcanza de una muestra en particular, un mayor incremento en la irradiación no producen ningún cambio en la conductancia.

Los materiales fotoconductores se utilizan en la fabricación de dispositivos fotoeléctricos. Típicas sustancias fotoconductoras consisten en germanio, galio, selenio o silicio con impurezas, también conocido como dopantes. Otros materiales comunes son los óxidos y sulfuros de metales.

4.11 Tecnología y fabricación del microchip

Los minerales y las rocas han acompañado a los seres humanos desde sus orígenes más tempranos y han sido sin duda la base sobre la que se ha construido su espectacular desarrollo. Pero ese mismo desarrollo se ha convertido lentamente, y para la mayoría de los ciudadanos, en los cimientos invisibles de la sociedad moderna. Sin ellos, muchas de las cosas cotidianas desaparecerían y el hombre volvería, curiosamente, a la Edad de Piedra.

Las rocas de construcción y las ornamentales, el vidrio, la cerámica (tejas, ladrillos, baldosas, porcelana), jabón, detergente, filtros, fibras, pólvora, hierro, acero, dinamita, papel, cemento, escayola, cal, áridos, todos ellos se fabrican con minerales o rocas industriales. Pero también los ordenadores, mp4, las cámaras digitales, las bicicletas, los palos de golf, los coches, los aviones, los plásticos, los tejidos o incluso las lanzaderas espaciales y los satélites más modernos contienen minerales en forma de cargas activas o nuevos materiales, que no solo han mejorado el comportamiento de los modernos materiales utilizados sino que también han reducido sus costes.

El pedernal y los microchips tienen una cosa en común: la sílice, un compuesto versátil que sirve de hilo conductor de la historia de cómo los minerales han ayudado a la humanidad en convertirse en lo que hoy es.

En este punto vamos a hacer una descripción del proceso de fabricación de los microchips.

La fotolitografía es un proceso de impresión litográfico que utiliza una imagen formada a través de medios fotográficos. Los primeros esfuerzos destinados al desarrollo de la fotolitografía fueron realizados en 1822 por Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) utilizando una placa de peltre¹⁶ sensibilizada con una emulsión de betún de Judea y aceite de lavanda. Pero no fue hasta 1852 cuando el químico Louis-Charles Barreswil (1817-1870), el fotógrafo Louis-Alphonse Davanne (1824-1912), el litógrafo Joseph Lemercier (1803-1887) y el óptico Nicolas-Marie-Paymal Lerebours (1807-1873)

¹⁶ El peltre es una aleación compuesta por estaño, cobre, antimonio y plomo.

utilizaron una piedra litográfica emulsionada con betún de Judea y éter. Este proceso se fue perfeccionando con el tiempo al utilizar diferentes materiales como placas de zinc o aluminio, así como emulsiones de gelatina y bicromato de potasio que, bajo el efecto de la luz y del agua caliente, determinaban la distribución de la tinta. Esta técnica, en su versión moderna, consiste en imprimir una imagen entintada sobre un cilindro de hule y luego transferirla a papel o a otro material.

Los microchips son fabricados usando fotolitografía. Para empezar con la fabricación lo primero es disponer de un sustrato, que es aquello donde se dibujará. El sustrato se cubre con una sustancia química llamada fotorresina. Hay una cantidad de sustancias químicas que pueden actuar como fotorresinas, muchas de ellas son polímeros. Las fotorresinas cambian cuando están expuestas a la luz porque sus moléculas se entrelazan, haciendo que no sean fácilmente extraídas en el proceso de revelado o lavado. A partir de esto se puede continuar con el dibujo. Para crear el diseño sobre el sustrato necesitamos una máscara que posea el patrón de tal diseño. Si irradiamos luz a través de esta máscara, la luz solo pasará por aquellas áreas transparentes de la máscara e iluminará el sustrato. Para entender esto debemos pensar en lo que pasa cuando proyectamos sombras en la pared con las manos. Finalmente, se necesitará el uso de otros productos químicos para revelar el patrón creado sobre la fotorresina, estos productos químicos eliminarán la fotorresina que fue iluminada con luz y, de esta forma, se obtiene el diseño sobre el sustrato.

Los tamaños de los componentes en los chips producidos en una planta de fabricación moderna son extremadamente pequeños. Para una mejor comprensión de lo pequeños que son, pensaremos en un pelo de la cabeza, al cortarlo por la mitad. Ahora deberemos observar la sección transversal: en esta pequeña área, difícil de ver a simple vista, se puede incorporar miles de transistores modernos. Con tamaños tan pequeños, la producción de un chip exige precisión a nivel atómico. Diminutas partículas como un pelo, una mota de polvo, una célula de la piel muerta, bacterias o incluso las partículas individuales del humo del tabaco se convierten en objetos enormes suficientemente grandes como para arruinar un chip. Por lo tanto, la producción de chips se lleva a cabo en una sala limpia o *blanca*. Esta es una sala especialmente diseñada, donde los muebles están contruidos con materiales

especiales que no emiten partículas, y donde existen filtros de aire muy eficaces, con un sistema de ventilación de aire que cambia completamente el aire hasta diez veces por minuto.



Ilustración 33: Sala limpia o blanca

Además, para evitar una mayor contaminación, los trabajadores usan trajes especiales llamados "bunny suits" (trajes de conejo). Estos trajes protectores están hechos de material ultra limpio y a veces tienen sus propios sistemas de aire filtrado.

Las salas blancas aparecieron hace aproximadamente 100 años en dos áreas, la hospitalaria para controlar las infecciones en hospitales y la industria de armamento, donde fueron aplicadas a la industria de la microelectrónica, posteriormente se observó su utilidad en la fabricación de semiconductores, microchips, etc. ya que, debido a su minúsculo tamaño, necesitan de ambientes libres de partículas. Con el paso de los años su uso se fue extendiendo a muchos otros ámbitos, como el farmacéutico, alimentario, nanotecnológico, químico, etc...

La definición de "sala blanca" según la Federal Standard 209 D es: "Una habitación donde la concentración de partículas en el aire es controlado por límites especificados". La definición de "sala blanca" según la British Standard 5295 es: "Una habitación con control de partículas contaminantes, construida y usada minimizando la

introducción, generación y retención de partículas; y donde la temperatura, humedad y presión es controlada según necesidades".

Así, podemos resumirla como una zona en la que ciertos parámetros críticos se mantienen alrededor de unos valores de consigna necesarios para una determinada función independientemente de las condiciones exteriores y el proceso de producción que se realice en su interior. Los parámetros generales son los siguientes:

- Número y dimensiones de partículas en el aire
- Temperatura seca y húmeda y distribución de la misma
- Flujo del aire: velocidad, dirección y distribución
- Presión interior del aire y su distribución
- Geometría y acabados interiores
- Iluminación
- Protección contra incendios
- Protección electroestática
- Control y seguridad sobre la gestión, control energético y comunicación.

Las "salas limpias" se clasifican según el número y tamaño de partículas permitidas por el volumen de aire. Una alta clasificación como "Clase 100" o "clase 1000" (según FED-STD-209E), enumera el número de partículas de tamaño 0,5 micras más grande permitida por el pie cúbico.

Según la norma ISO 14644-1 (tabla 2), la clasificación que va desde 1 al 6 se especifica con el logaritmo decimal del número de partículas de 0.1 micras o más grande permitido por metro cúbico de aire.

**ISO 14644-1
CLEANROOM
STANDARDS**

CLASS	MAXIMUN PARTICLES/M						FED STS 209E equivalent
	≥0.1 um	≥0.2 um	≥0.3 um	≥0.5um	≥1um	≥5 um	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
SIO 3	1000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10000	2370	1020	352	83		Class 10
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29	Class 100
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293	Class 1000
ISO 7				352000	83200	2930	Class 10000
ISO 8				3520000	832000	29300	Class 100000
ISO 9				35200000	8320000	293000	Room air

Tabla 2: Clasificación de salas limpias según ISO 14644-1 y equivalencia con FED STD 209E

4.12 Gordon Earl Moore

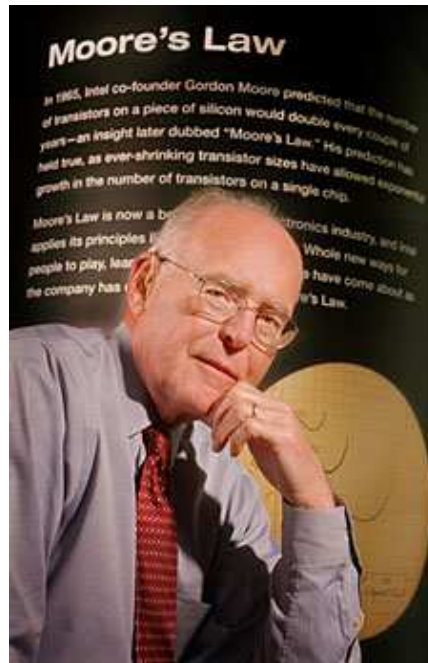


Ilustración 34: Gordon Earl Moore

Gordon Earl Moore nació en San Francisco (California) el 3 de enero de 1929, aunque su familia era de Pescadero, localidad en la que creció. Pasó dos años en la Universidad estatal de San José (donde conocería a su esposa Betty) para pasar a la Universidad de California en Berkeley, donde se graduó en Ciencias Químicas. En 1954 obtuvo el doctorado en Química en el Instituto Tecnológico de California (Caltech) además de graduarse en Ciencias Físicas y, en 1956 realizó un trabajo post-doctoral en el Laboratorio de Física Aplicada de la prestigiosa Universidad Johns Hopkins.

Cuando Shockley, premio Nobel de Física en 1956, abandonó su puesto en los laboratorios Bell y fundó su propia compañía, Shockley Semiconductors Laboratory, en Palo Alto (California) para trabajar en el campo de los dispositivos electrónicos semiconductores intentó provocar una fuga de cerebros en Bell hacia su empresa pero ninguno de sus antiguos compañeros se unieron a él así que decidió buscar talento en el mundo de la universidad. Shockley sumó a su proyecto a doce jóvenes doctores, entre los que se encontraba Gordon Moore, Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Eugene Kleiner, Jay Last, Sheldon Roberts y Robert Noyce. Estos ocho jóvenes doctores

terminaron saliendo de la compañía por las desavenencias con Shockley, convirtiéndose en los “ocho traidores” del Silicon Valley que fundarían Fairchild Semiconductor en 1957.

Durante su estancia en Fairchild Semiconductor, Moore publicaría un artículo de investigación que marcaría el mundo de la ingeniería electrónica. El 19 de abril de 1965, la revista *Electronics* publicó un artículo escrito por Moore en el que expresaba, en base a sus observaciones, una visión sobre la complejidad de los circuitos integrados y los costes de fabricación. El enunciado, conocido como la Ley de Moore, indicaba que, aproximadamente, cada 18 meses se duplica el número de transistores que se incluyen en un circuito integrado y su coste, a pesar de la complejidad, también se reduce:

“La complejidad de los componentes se ha multiplicado aproximadamente por 2 cada año. A corto plazo, se puede esperar que esta tasa se mantenga o incluso que aumente. A largo plazo, la tasa de crecimiento es menos predecible, aunque no hay razón para creer que no permanecerá constante por lo menos durante otros 10 años. Es decir, en 1975 el número de componentes en cada circuito integrado de bajo coste será de 65.000. Creo que un circuito tan grande puede construirse en una única oblea de silicio.

Habíamos duplicado más o menos cada año desde el primer transistor. Habíamos subido a 64 en seis años, así que dije “¡Ah!, se está duplicando cada año. Vale, entonces podría seguir así durante 10 años más”. Así que extrapolé un factor de incremento de mil veces en la complejidad de los circuitos, no esperando ninguna precisión, pero queriendo remarcar la idea de la forma en que los transistores se iban a usar”.

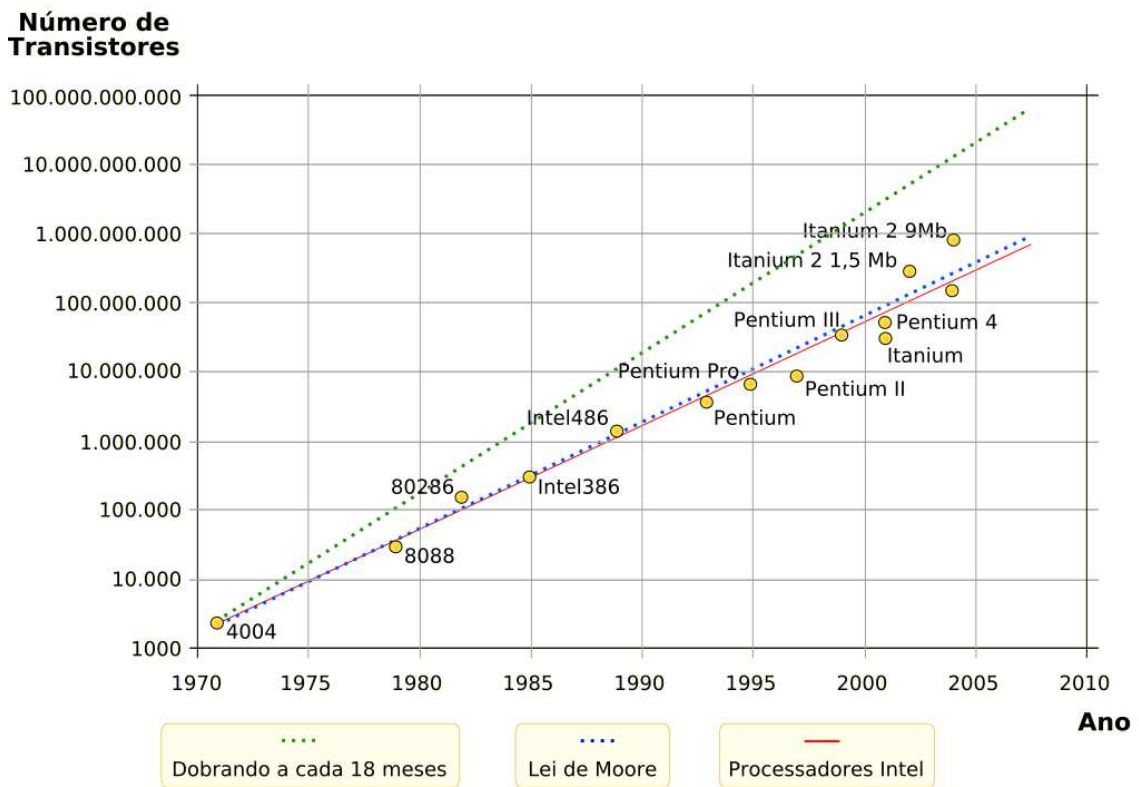


Ilustración 35: Ley de Moore I

Gordon Moore permanecería en Fairchild Semiconductor hasta el año 1968, momento en el que se unió a Robert Noyce para emprender un nuevo proyecto: Intel Corporation, donde ejercería de vicepresidente ejecutivo hasta el año 1975, momento en el que se convirtió en presidente de la compañía y CEO¹⁷ y en 1979 sumaría a sus cargos el del miembro de la junta directiva de la compañía. Ya estando en Intel, en 1975 Moore actualizó su Ley para aumentar a dos años el período de tiempo en el que se duplicaba el número de transistores existentes en un circuito integrado (algo que se ha estado cumpliendo hasta nuestros días). Además, desde el punto de vista económico, la Ley de Moore mostraba que los costes decrecían también de manera exponencial, haciendo que los circuitos integrados cada vez fuesen más baratos de producir gracias a la depuración de los procesos de fabricación (extendiendo su uso en todo tipo de aplicaciones).

¹⁷ Chief Executive Officer

Moore estuvo a la cabeza de Intel hasta abril de 1987, momento en el que abandonó su puesto de CEO aunque siguió vinculado a la compañía como miembro emérito de la junta directiva (cargo que aún ostenta). Desde entonces, Moore se ha convertido en un mecenas de la investigación y ha donado dinero al CalTech (600 millones de dólares) y ha aportado fondos para la construcción del mayor telescopio óptico (el TMT) entre otras donaciones.

4.13 Ley de Moore

Es el artículo elaborado por Gordon Moore en el cual se anticipaba que la complejidad de los circuitos integrados se duplicaría cada año con una reducción de costo conmensurable; este documento decía lo siguiente:

“El número de componentes de un circuito integrado seguirá doblándose cada año, y en 1975 serán mil veces más complejos que en 1965”.

En aquel momento el circuito integrado más complejo tenía 64 componentes, así que estaba aventurando que en 1975 tendría que haber un mínimo de 65.000. Todo el mérito de Moore consistió en decir que en 10 años ocurriría más o menos lo mismo que estaba ocurriendo entonces. Y en acertar.

La Ley de Moore viene representada en la ilustración 35.

Junto a ese concepto, que más tarde sería bautizado como su ley, aunque científicamente es una predicción, Moore lanzaba algunas otras ideas que más tarde se cumplirían:

“Los circuitos integrados llevarán a maravillas tales como ordenadores personales, o por lo menos terminales conectadas a un ordenador central, controles automáticos para los coches, y equipamiento de comunicaciones portátil personal”. Y el número de componentes siguió, más o menos, el camino que Moore había previsto. El primer microprocesador de Intel, el 4004 (1971) tenía 2.250 transistores; en 2002, el Pentium 4 tenía más de 50 millones.

Microprocesador	Año	Cantidad de transistores
4004	1971	2250
8008	1972	2500
8080	1974	5000
8086	1978	29000
286	1982	120000
Intel386	1985	275000
Intel Pentium	1989	1180000
Intel Pentium II	1993	3100000
Intel Pentium III	1997	7500000
Intel Pentium 4	1999	24000000
Intel Itanium	2000	42000000
Intel Itanium	2002	220000000
Intel Itanium 2	2003	410000000

Tabla 3: Ley de Moore II

La acepción de la Ley de Moore ha cambiado con el tiempo. El artículo original decía que el número de componentes por chip que se podían colocar se duplicaría cada año. Pero esto no tenía aún nada que ver con los ordenadores actuales, porque el microprocesador todavía no se había inventado. Y no se había creado porque la compañía que lo creó todavía no existía: Intel nació en el 68 y la ley es del 65, cuando Moore todavía trabajaba en Fairchild. En 1975, en una reunión del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering), justo después de comprobar el resultado de su predicción, Moore pensó que el ritmo se ralentizaría, y decidió modificar el tiempo de duplicación, fijándolo en 2 años. En los años 80, las resistencias se dejaron de contabilizar en el número de componentes, y la Ley de Moore se comenzó a conocer como la duplicación del número de transistores en un chip cada 18 meses. Lo curioso del caso es que Moore nunca dijo 18 meses. Fueron sus compañeros en Intel quienes introdujeron esa cifra, al tener en cuenta que además del número de transistores, se aumentaba la frecuencia de reloj.

4.14 Intel

Intel fue la primera compañía de microprocesadores del mundo, como ya hemos señalado fue fundada en 1968 por Gordon E. Moore y Robert Noyce, quienes inicialmente quisieron llamar a la empresa Moore Noyce, pero sonaba mal, por lo que eligieron como nombre las siglas de Integrated Electronic. Nada más nacer tuvo problemas de marca ya que la marca pertenecía a una cadena hotelera, asunto que fue arreglado con la compra de la misma.

La compañía comenzó fabricando memorias magnéticas antes de dar el salto a los microprocesadores. Hasta los años 70 fueron líderes gracias al competitivo mercado de las memorias DRAM, SRAM y ROM.

El 15 de noviembre de 1971 lanzaron su primer microprocesador: el Intel 4004 para facilitar el diseño de una calculadora. En lugar de tener que diseñar varios circuitos integrados para cada parte de la calculadora, diseñaron uno que según un programa almacenado en memoria podía hacer unas acciones u otras, es decir, un microprocesador.

Poco tiempo después, el 1 de Abril de 1972, Intel anunciaba una versión mejorada de su procesador. Se trataba del 8008, y su principal ventaja sobre otros modelos, como el Intel 4004 fue poder acceder a más memoria y procesar 8 bits. La velocidad de su reloj alcanzaba los 740KHz.

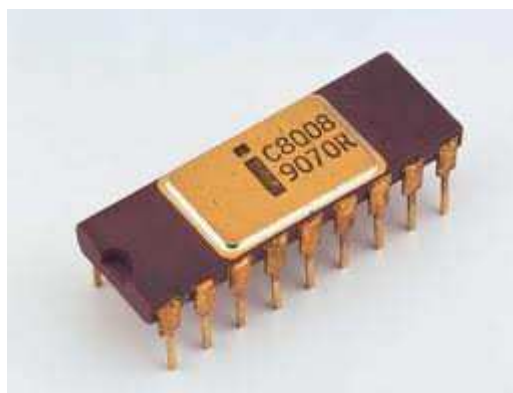


Ilustración 36: Microprocesador 8008

En abril del 1974 lanzaron el Intel 8080, su velocidad de reloj alcanzaba los 2 Mhz, permitiendo direccionamiento de 16 bits, un bus de datos de 8 bits y acceso fácil a 64k de memoria. Después Intel anunciaba ese tan esperado primer ordenador personal, de nombre Altair, cuyo nombre proviene de un destino de la nave Enterprise en uno de los capítulos de la popular serie de televisión Star Trek. Este ordenador tenía un coste de entorno a los 400 dólares de la época, y el procesador suponía multiplicar por 10 el rendimiento del anterior, gracias a sus 2 Mhz de velocidad, con una memoria de 64kb.



Ilustración 37: Altair

Sin embargo, el ordenador personal no pasó a ser tal hasta la aparición de IBM, en el mercado. Algo que sucedió en dos ocasiones, en los meses de junio de 1978 y de 1979, fechas en las que, respectivamente, hacían su aparición los microprocesadores 8086 y 8088, que pasaron a formar el denominado IBM PC, que vendió millones de unidades de ordenadores. El éxito fue tal que Intel fue nombrada por *Fortune* como uno de los mejores negocios de los años 70. De los dos procesadores, el más potente era el 8086, con un bus de 16 bits, velocidades de reloj de 5, 8 y 10 Mhz, 29.000 transistores usando la tecnología de 3 micras y hasta un máximo de 1 Mega de memoria direccionable. En cuanto al procesador 8088, era exactamente igual a éste, salvo la diferencia de que poseía un bus de 8 bits en lugar de 16, siendo más barato y obteniendo mejor respaldo en el mercado.

Cabe mencionar que el procesador 8086 es un microprocesador tan conocido y probado, que incluso en el 2002 la NASA ha estado adquiriendo microprocesadores 8086 de segunda mano.

El 1 de febrero de 1982, Intel daba un nuevo vuelco a la industria con la aparición de los primeros 80286 (el famoso "286") con una velocidad entre 6 y 25 Mhz y un diseño mucho más cercano a los actuales microprocesadores. Como principal novedad, cabe destacar el hecho de que por fin se podía utilizar la denominada memoria virtual, que en el caso del 286 podía llegar hasta 1 Giga. El 286 tiene el honor de ser el primer microprocesador usado para crear ordenadores clónicos en masa y gracias al sistema de "licencias cruzadas" apareció el primer fabricante de clónicos "IBM compatible": el Compaq, el cual utilizando dicho microprocesador empezó a fabricar equipos de escritorio en 1985 y a utilizar los microprocesadores que Intel/IBM sacaban al mercado.

En 1986 apareció el Intel 80386 conocido por "386", velocidad de reloj entre 16 y 40 Mhz y destacó principalmente por ser un microprocesador con arquitectura de 32 bits.

Cabe destacar también que la producción de microprocesadores "80386" ha continuado hasta ahora e Intel afirmó en el 2006 que terminaría finalmente de producirlos en septiembre del 2007. Actualmente, este microprocesador todavía se usa bastante para sistemas empujados.

En 1988, Intel desarrollaba un poco tarde un sistema sencillo de actualizar los antiguos 286 gracias a la aparición del 80386SX, que sacrificaba el bus de datos para dejarlo en uno de 16 bits, pero a menor coste. Estos procesadores irrumpieron con la explosión del entorno gráfico Windows, desarrollado por Microsoft unos años antes, pero que no había tenido la suficiente aceptación por parte de los usuarios.

El 10 de abril de 1989 apareció el Intel 80486DX, de nuevo con tecnología de 32 bits y, como novedades principales, la incorporación del caché de nivel 1 (L1) en el propio chip, lo que aceleraba enormemente la transferencia de datos de este caché al procesador, así como la aparición del co-procesador matemático.

Más tarde, sacaron hasta dos versiones más de DX: en 1992 el i486 DX2 a 50 y 66 MHz y en 1994 el i486 DX4 a 75-100 MHz enfocado a procesadores de gama alta.

En 1989 lanzaron el "486", que alcanzó velocidades entre 16 y 100 MHz y una curiosidad: según la Wikipedia fue nombrado "i486" por fallo judicial que prohibió el uso de marcas con números.

Por ello el siguiente microprocesador en ser lanzado, en mayo del 1993, fue conocido como "Pentium". Estos procesadores, que partían de una velocidad inicial de 60 MHz, han llegado hasta los 200 MHz, algo que nadie había sido capaz de augurar unos años antes. Con una arquitectura real de 32 bits, se usaba de nuevo la tecnología de 0.8 micras, con lo que se lograba realizar más unidades en menos espacio.

El 27 de marzo de 1995, del procesador Pentium Pro supuso para los servidores de red y las estaciones de trabajo un aire nuevo, tal y como ocurriera con el Pentium en el ámbito doméstico. La potencia de este procesador no tenía comparación hasta entonces, gracias a la arquitectura de 64 bits y el empleo de una tecnología revolucionaria como es la de 0.32 micras, lo que permitía la inclusión de cinco millones y medio de transistores en su interior. El procesador contaba con un segundo chip en el mismo encapsulado, que se encargaba de mejorar la velocidad de la memoria caché, lo que resultaba en un incremento del rendimiento sustancioso. Las frecuencias de reloj se mantenían como límite por arriba en 200 MHz, partiendo de un mínimo de 150 Mhz.

En mayo de 1997 aparece el Intel Pentium II, un año más tarde el Pentium II Xeon, tras el que llegaría el Intel Pentium III.

Dentro de los microprocesadores de Intel debemos destacar las tecnologías multinúcleo implementadas en los procesadores Pentium D y Core 2 Duo, la tecnología móvil Centrino desarrollada para el mercado de portátiles y la tecnología Hyper-Threading integrada en los procesadores Intel Pentium 4 y procesadores Intel Core i7.



Ilustración 38: Intel Core i7

Actualmente han lanzado al mercado un nuevo procesador, denominado Intel Core i7, el más rápido en el campo de los PC por ahora. Este procesador reemplazará a los procesadores Core 2 Duo (ilustración 38). El rival a batir sin duda es el Cell de IBM, con sus 8 núcleos a 3,2 GHz cada uno, pasando de los 24 GFlops/s.

4.15 Etapas para la fabricación de un dispositivo

Las etapas de fabricación de un dispositivo electrónico se dividen en:

1. Purificación del sustrato (Fabricación de obleas).
2. Oxidación.
3. Litografía y grabado.
4. Impurificación.
5. Creación de capas delgadas (deposición y crecimiento epitaxia).
6. Colocación de los circuitos metálicos.

La construcción de un circuito integrado como un chip de computadora es un proceso muy complejo. Se divide en dos grandes partes, frontal y posterior. En la parte delantera, se crean los componentes del circuito: en el extremo posterior, se agrega de metal para conectar los componentes y luego probar y empaquetar el chip.

Frontal: Construcción de los componentes



1. Para comenzar con el proceso de creación de un microchip lo que primero se necesita es el plano de un circuito electrónico, el cual se generara con un software específico para la generación de este.



2. La máscara que será utilizada posteriormente se obtiene a partir de los planos anteriormente generados.



3. Para la obtención del silicio cristalino se suelen utilizar dos métodos:

- Método Czochralsky (ilustración 39)
- Método de Zona Flotante (ilustración 40)

En el primer método se coloca el silicio policristalino en el crisol y el horno se calienta hasta fundirlo. A continuación se añaden impurezas del tipo necesario para crear un semiconductor de tipo N (Fósforo, Arsénico, Antimonio) o P (Boro, Aluminio, Galio) con el dopado deseado. Se introduce la semilla en el fundido (muestra pequeña del cristal que se quiere crecer). Se levanta lentamente la semilla (se gira la semilla en un sentido y el crisol en el contrario). El progresivo enfriamiento en el interface solido-liquido proporciona un silicio monocristalino con la misma orientación cristalina que la semilla pero de mayor diámetro.

**CRISTALIZACIÓN POR EL METODO
"CZOCHELSKY"**

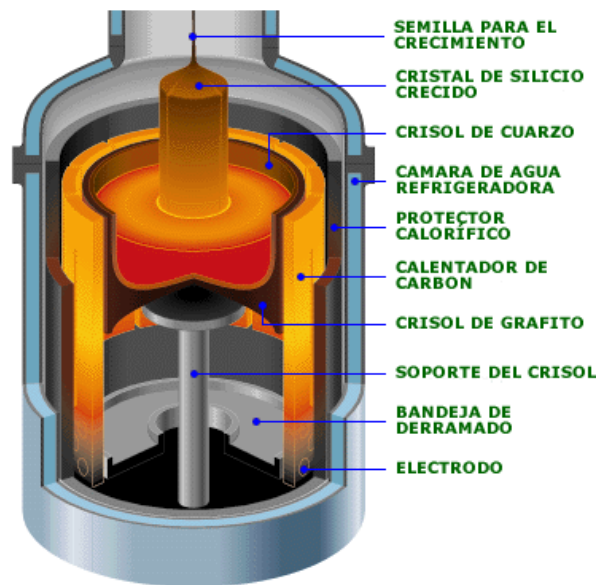


Ilustración 39: Método Czochralsky

Para el método de la Zona Flotante el proceso parte de un cilindro de silicio policristalino. Se sostiene verticalmente y se conecta uno de sus extremos a la semilla. Una pequeña zona del cristal se funde mediante un calentador por radio frecuencia que se desplaza a lo largo de todo el cristal desde la semilla. El Si fundido es retenido por la tensión superficial entre ambas caras del silicio sólido. Cuando la zona flotante se desplaza hacia arriba, el silicio monocristalino se solidifica en el extremo inferior de la zona flotante y crece como una extensión de la semilla.

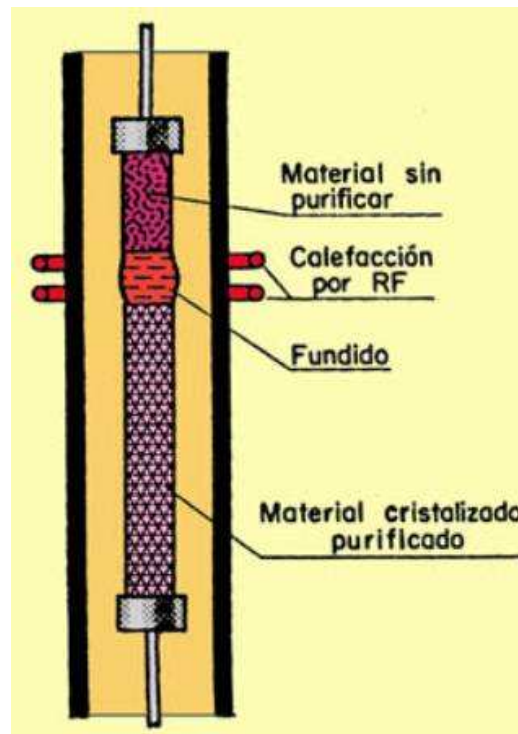


Ilustración 40: Método de la Zona Flotante



4. El siguiente proceso es la obtención de la oblea de silicio. El cilindro de silicio anteriormente descrito se corta con una sierra de diamante, después estas se pulen para que tengan un acabado de espejo.



5. Ahora la oblea es cubierta por una capa aislante de óxido de silicio.



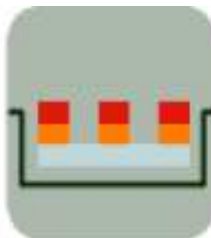
6. Después de colocar la capa de óxido, se coloca una capa de material protector sobre el óxido. Este material es un material sensible a la luz.



7. La luz ultravioleta se irradia a través de la máscara obtenida en el punto 2 en el chip. En las partes del chip que se ven afectados por la luz, el material protector se revela dejando grabada la máscara sobre la oblea.



8. A continuación, hay que limpiar la oblea para eliminar las partes del material protector que ha sido expuesto a la luz ultravioleta.



9. Para obtener el patrón que se ha creado con las partes que han sido protegidas de la luz, la oblea ha de ser sometida a un proceso llamado etching (grabado) en la que se utilizan productos químicos.



10. Ahora se someterá a la oblea a un proceso que altera las propiedades eléctricas de las zonas que no han sido protegidas de la luz, llamado “dopaje”. Los pasos 5-10 se repiten para construir el circuito integrado, capa por capa. También se pueden añadir capas conductoras o aislantes.

Posterior – Añadido de los hilos de conexión



11. Por último, cuando ya tenemos todos los componentes del chip listos, se añade metal para la conexión de los componentes entre sí, este proceso es denominado metalización. Normalmente, el metal utilizado como conductor es el cobre.



12. Después se añade una capa sensible a la luz UV encima del metal.



13. A continuación, utilizaremos una máscara que contiene la disposición de los hilos metálicos para la conexión de los componentes del circuito. Ahora se irradia luz ultravioleta a través de la máscara. La luz llega al fotoresist¹⁸ que no es protegida por la máscara.



14. En la siguiente etapa, para eliminar el fotorresist que ha sido irradiado por luz ultravioleta utilizaremos productos químicos.

¹⁸ Material fotosensible.



15. Otra etapa de ataque químico elimina el metal no protegido por fotoresist.



16. Estos procesos dejan el patrón de metal que fue grabado con la máscara, así que ya tenemos una capa de hilos para conectar los componentes del circuito.



17. Existen circuitos más complejos que o podrían necesitar varias capas diferentes de metal para construir todas las conexiones necesarias. Como se puede ver en el dibujo, entre capa y capa de metal se coloca una capa de material aislante para evitar que las conexiones se conecten inadecuadamente.



18. Para comprobar que todas las capas y cables están conexionados correctamente se testean los chips de la oblea de silicio para comprobar que funcionan correctamente.



19. Para separar los chips de la oblea de silicio se utiliza una sierra de diamante y así tener los circuitos integrados individualmente.



20. Para finalizar, cada chip se coloca en un encapsulado y se somete a una serie de pruebas. Con esto el chip ya estaría terminado y preparado para ser integrado en cualquier dispositivo electrónico.

4.16 La evolución de los Circuitos Integrados

El circuito integrado ha recorrido un largo camino desde el primer prototipo de Jack Kilby. Su idea era fundar una nueva industria y en este caso el microchip es el elemento clave detrás de nuestra sociedad informatizada. Hoy en día los más avanzados circuitos contienen varios cientos de millones de componentes en un área del tamaño de una uña. Los transistores en estos chips son de alrededor de 90 nm, que es 9×10^{-5} milímetros, lo que significa que podría caber cientos de estos transistores dentro de un glóbulo rojo.

Cada año los chips para ordenadores se vuelven más potentes y más baratos que el año anterior. Gordon Moore, de quien ya hemos hablado, fue uno de los pioneros de circuitos integrados y uno de los primeros fundadores de Intel dijo una vez: "Si la industria del automóvil avanzara tan rápidamente como la industria de los semiconductores, un Rolls Royce consumiría una media de un millón de millas por galón, y sería más barato tirarlo a la basura que aparcarlo".

4.17 Tipos y clasificación de los circuitos integrados

Existen tres tipos de circuitos integrados

• **Circuito monolítico:** La palabra monolítico viene del griego y significa "una piedra". La palabra es apropiada porque los componentes son parte de un chip. El circuito monolítico es el tipo más común de circuito integrado. Ya que desde su intervención los fabricantes han estado produciendo los circuitos integrados monolíticos para llevar a cabo todo tipo de funciones. Los tipos comercialmente disponibles se pueden utilizar como amplificadores, reguladores de voltaje, conmutadores, receptores de AM, circuito de televisión y circuitos de computadoras. Pero tienen limitantes de potencia. Ya que la mayoría de ellos son del tamaño de un transistor discreto de señal pequeña, generalmente tiene un índice de máxima potencia menor que 1 W. Están fabricados en un solo monocristal, habitualmente de silicio, pero también existen en germanio, arseniuro de galio, silicio-germanio, etc.

Los circuitos electrónicos híbridos tienen una implantación creciente en los últimos años. En los circuitos híbridos los componentes pasivos se imprimen en el substrato (siempre que los valores de estos lo permitan). Los componentes pasivos pueden conformarse por medio de deposición de tintas, controlando las dimensiones y espesores de las deposiciones. Componentes pasivos que se pueden integrar:

- Inductores.
- Condensadores.
- Resistores.

Los componentes que no puedan realizarse por medio de tintas, son componentes de tecnología superficial.

La clasificación que se realiza en los circuitos híbridos es en función del espesor mínimo de la capa que se deposita, con lo que tenemos dos tipos de circuitos:

- Circuitos híbridos de capa delgada (Thin film).

- Circuitos híbridos de capa gruesa (Thick film).

Los circuitos híbridos pueden insertarse en circuitos impresos de inserción como un componente más. Permiten mejorar el diseño de los circuitos en las siguientes aplicaciones:

- Aplicaciones médicas y de instrumentación electrónica.
- Aplicaciones de automoción e industriales de potencia.
- Aplicaciones en Telecomunicaciones para alta frecuencia (línea de banda (stripline), línea microbanda (microstrip), ranurada (slotline), coplanaria (coplanar waveguide)).

• **Circuito híbrido de capa fina:** Son muy similares a los circuitos monolíticos, pero, además, contienen componentes difíciles de fabricar con tecnología monolítica. Muchos conversores A/D y conversores D/A se fabricaron en tecnología híbrida hasta que progresos en la tecnología permitieron fabricar resistencias precisas.

• **Circuito híbrido de capa gruesa:** Se apartan bastante de los circuitos monolíticos. De hecho suelen contener circuitos monolíticos sin cápsula, transistores, diodos, etc, sobre un sustrato dieléctrico, interconectados con pistas conductoras. Las resistencias se depositan por serigrafía y se ajustan haciéndoles cortes con láser. Todo ello se encapsula, tanto en cápsulas plásticas como metálicas, dependiendo de la disipación de potencia que necesiten. En muchos casos, la cápsula no está "moldeada", sino que simplemente consiste en una resina epoxi que protege el circuito. En el mercado se encuentran circuitos híbridos para módulos de RF, fuentes de alimentación, circuitos de encendido para automóvil, etc.

Clasificación

En cuanto a las funciones integradas, los circuitos se clasifican en dos grandes grupos:

- **Circuitos integrados analógicos:** Pueden constar desde simples transistores encapsulados juntos, sin unión entre ellos, hasta dispositivos completos como amplificadores, osciladores o incluso receptores de radio completos. La mayoría de las cosas que se pueden medir cuantitativamente aparecen en la naturaleza en forma analógica.

Un ejemplo de ello es la temperatura: a lo largo de un día la temperatura no varía entre, por ejemplo, 20°C o 25°C de forma instantánea, sin que alcance todos los infinitos valores que existen en ese intervalo. Otros ejemplos de magnitudes analógicas son el tiempo, la presión, la distancia, el sonido.

- **Circuitos integrados digitales:** Pueden ser desde básicas puertas lógicas (Y, O, NO) hasta los más complicados microprocesadores.

Estos son diseñados y fabricados para cumplir una función específica dentro de un sistema. En general, la fabricación de los CI es compleja ya que tienen una alta integración de componentes en un espacio muy reducido, de forma que llegan a ser microscópicos. Sin embargo, permiten grandes simplificaciones con respecto a los antiguos circuitos, además de un montaje más rápido.

Atendiendo al nivel de integración (número de componentes) los circuitos integrados se clasifican en:

- SSI (Small Scale Integration) pequeño nivel: inferior a 12
- MSI (Medium Scale Integration) medio: 12 a 99
- LSI (Large Scale Integration) grande: 100 a 9999
- VLSI (Very Large Scale Integration) muy grande: 10 000 a 99 999

- ULSI (Ultra Large Scale Integration) ultra grande: igual o superior a 100 000

En cuanto a las funciones integradas, existen dos clasificaciones fundamentales de circuitos integrados (CI): los análogos y los digitales.

Familias lógicas

Los circuitos digitales emplean componentes encapsulados. Los cuales pueden albergar puertas lógicas o circuitos lógicos más complejos.

Estos componentes están estandarizados, para que haya una compatibilidad entre fabricantes, de forma que las características más importantes sean comunes. De forma global los componentes lógicos se engloban dentro de una de las dos familias siguientes:

- **TTL:** diseñada para alta velocidad.
- **CMOS:** diseñada para un bajo consumo.

Actualmente dentro de estas dos familias se han creado otras, que intentan conseguir lo mejor de ambas: bajo consumo y una alta velocidad.

Sustratos

El sustrato es el soporte donde se monta el circuito electrónico, compuesto por conductores, dieléctricos y componentes integrados en el sustrato, o montados. La elección del sustrato depende de las características térmicas, mecánicas y eléctricas del circuito. La siguiente tabla muestra algunas de las características de los sustratos más utilizados:

SUSTRATO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	Cte. DIELÉCTRICA	RIGIDEZ DIELÉCTRICA
Alúmina 96% y 99%	15-35 W/m°C	9.7 a 9 MHz	10-20 Ac-KV/mm
Óxido de berilio	260-290 W/m°C	6.4 a 1 MHz	2.8-3.2 Ac-KV/mm
Nitruro de aluminio	170-190 W/m°C	8-10 a 1 MHz	
Carbono de silicio	70-260 W/m°C	40-79 a 1MHz	
Silicio	70-260 W/m°C	40-79 a 1MHz	
Mullite	5 W/m°C	6.8 a 1 MHz	
LTCC	3 W/m°C	7.8 a 1 MHz	>40000 Ac-KV/mm

Tabla 4: Características de algunos sustratos

4.18 Características importantes en TTL

La familia TTL usa transistores del tipo bipolar por lo que está dentro de las familias lógicas bipolares.

Texas Instruments introdujo (1964) la primera línea estándar de productos circuitales TTL. La serie 5400/7400 ha sido una de las familias lógicas de circuitos integrados más usadas.

La diferencia entre las versiones 5400 y 7400 es que la primera es de uso militar, operable sobre rangos mayores de temperatura (de -55°C a 125°C) y suministro de alimentación (cuya variación en el suministro de voltaje va de 4.5V a 5.5V). La serie

7400 opera sobre el rango de temperatura 0°C a -70°C y con una tensión de alimentación de 4.75 a 5.75V. Ambas tienen un fan-out ¹⁹ típico de diez, por lo que pueden manejar otras 10 entradas.

Otras propiedades de la tecnología TTL son:

No todas las entradas en un circuito integrado TTL se usan en una aplicación particular.

Las señales de entrada que manejan circuitos TTL deben tener transiciones relativamente rápidas para una operación confiable.

Si los tiempos de subida o de bajada son mayores que 1μs, hay posibilidad de ocurrencia de oscilaciones en la salida.

4.19 Características importantes en CMOS

Acrónimo de Complementary Metal Oxide Semiconductor

Utilizados por lo general para fabricar memorias RAM y aplicaciones de conmutación, estos dispositivos se caracterizan por una alta velocidad de acceso y un bajo consumo de electricidad. Pueden ser dañados con facilidad por la electricidad estática.

La lógica CMOS ha emprendido un crecimiento constante en el área MSI (Medium Scale Integration), sobre todo a expensas de TTL, con la cual es de directa competencia.

El proceso de fabricación del CMOS es más simple que el del TTL y tiene una densidad de empaque mayor. Permitiendo, por consiguiente, más circuitería en un área dada y reduciendo el costo por función.

¹⁹ El fan out está referido a las salidas de los circuitos digitales. El fan-out es el número máximo de entradas (denominadas cargas) que podemos conectar a una línea de salida. Si este número se excede no se garantiza el buen funcionamiento del circuito.

CMOS usa una fracción de la potencia que se necesita para la serie TTL de baja potencia (74L00) y es así apropiada idealmente para aplicaciones que usan potencia de batería o potencia con batería de respaldo. La velocidad de operación de un CMOS no es comparable aún con las series TTL más rápidas, pero se espera mejorar en este proceso.

4.20 Diferencias más importantes

Los voltajes de alimentación son de 5V para los circuitos TTL y de 3V a 15V para los circuitos CMOS.

En la fabricación de los circuitos integrados se usan transistores bipolares para el TTL y transistores MOSFET para la tecnología CMOS.

El circuito integrado CMOS es de menor consumo de energía y de menor velocidad que los TTL.

Existen ciertos límites físicos y económicos al desarrollo de los circuitos integrados. Son barreras que se van alejando al mejorar la tecnología, pero no desaparecen. Las principales son:

Disipación de potencia-evacuación del calor

Los circuitos eléctricos disipan potencia. Cuando el número de componentes integrados en un volumen dado crece, las exigencias en cuanto a disipación de esta potencia también crecen, calentando el sustrato y degradando el comportamiento del dispositivo. Además, en muchos casos es un comportamiento regenerativo, de modo que cuanto mayor sea la temperatura, más calor produce, fenómeno que se suele llamar "embalamiento térmico" y, que si no se evita, llega a destruir el dispositivo. Los amplificadores de audio y los reguladores de tensión son proclives a este fenómeno, por lo que suelen incorporar "protecciones térmicas".

Los circuitos de potencia, evidentemente, son los que más energía deben disipar. Para ello su cápsula contiene partes metálicas en contacto con la parte inferior del chip, que sirven de conducto térmico para transferir el calor del chip al disipador o al

ambiente. La reducción de resistividad térmica de este conducto, así como de las nuevas cápsulas de compuestos de silicona, permiten mayores disipaciones con cápsulas más pequeñas.

Los circuitos digitales resuelven el problema reduciendo la tensión de alimentación y utilizando tecnologías de bajo consumo, como CMOS. Aun así en los circuitos con más densidad de integración y elevadas velocidades, la disipación es uno de los mayores problemas. Precisamente la alta resistividad térmica del arseniuro de galio es su talón de Aquiles para realizar circuitos digitales con él.

Capacidades y autoinducciones parásitas

Este efecto se refiere principalmente a las conexiones eléctricas entre el chip, la cápsula y el circuito donde va montada, limitando su frecuencia de funcionamiento.

Con pastillas más pequeñas se reduce la capacidad y la autoinducción de ellas. En los circuitos digitales excitadores de buses, generadores de reloj, etc, es importante mantener la impedancia de las líneas y, todavía más, en los circuitos de radio y de microondas.

Límites en los componentes

Los componentes disponibles para integrar tienen ciertas limitaciones, que difieren de las de sus contrapartidas discretas.

- **Resistencias.** Son indeseables por necesitar una gran cantidad de superficie. Por ello sólo se usan valores reducidos y, en tecnologías MOS, se eliminan casi totalmente.
- **Condensadores.** Sólo son posibles valores muy reducidos y a costa de mucha superficie. Como ejemplo, en el amplificador operacional $\mu A741$, el condensador de estabilización viene a ocupar un cuarto del chip.
- **Bobinas.** Sólo se usan en circuitos de radiofrecuencia, siendo híbridos muchas veces. En general no se integran.

Densidad de integración

Durante el proceso de fabricación de los circuitos integrados se van acumulando los defectos, de modo que cierto número de componentes del circuito final no funcionan correctamente. Cuando el chip integra un número mayor de componentes, los componentes defectuosos disminuyen la proporción de chips funcionales. Es por ello que en circuitos de memorias, por ejemplo, donde existen millones de transistores, se fabrican más de los necesarios, de manera que se puede variar la interconexión final para obtener la organización especificada.

4.21 Ejemplos de utilización del circuito integrado

Sistemas de radio AM/FM

Un integrado de este tipo combina la mayoría de los circuitos necesarios para un sistema completo de recepción de radio AM/FM. Los bloques internos que contiene el citado sistema incluyen un amplificador, un conversor AM (mezclador y oscilador local), la etapa de FI de AM, el detector, la etapa de FI de FM y el detector FM.

Son necesarios componentes externos tales como resistencias, bobinas y resistencias para hacer completamente funcional el receptor. Estos componentes externos determinan algunas de las características funcionales del sistema, como pueden ser el ancho de banda y la ganancia. Además, los componentes externos son necesarios para construir los circuitos tanques necesarios para la sintonía de las etapas de FI.



Ilustración 41: Radio AM/FM

Calculadora de cinco funciones

Este circuito integrado lleva a cabo las cuatro funciones básicas de cálculo, así como el cargo y descargo de porcentajes. Funciona con un teclado simple que consta de las teclas C-CE, las diez teclas numéricas y las seis de función más el punto decimal. Es típico en las calculadoras de bolsillo que sean muy económicas y que contengan todas las funciones lógicas y de memoria en un único integrado de 28 terminales.

En muchas calculadoras avanzadas se emplean muchos otros circuitos integrados más complejos que proporcionan más de ocho dígitos en la pantalla, más funciones que las cinco básicas y cierta cantidad limitada de memoria, pero sus características básicas son las mismas.



Ilustración 42: Calculadora de cinco funciones

Microcomputador de 8 bits

El microcomputador constituye un sistema computador completo integrado en un único dispositivo. Contiene una memoria ROM/EPROM, una RAM y un microprocesador, que a su vez incluye el controlador, el programa de control, la ALU y algunos registros. El uso de un microcomputador de 8 bits en lugar de uno de 4 permite escribir el programa de control con el uso de un número menor de instrucciones.

Además, un microcomputador integrado de 8 bits permite números más grandes. Una vez escrito y depurado el programa de control se programa en la ROM o en la EPROM. Si se utiliza un microcomputador integrado con ROM, esta programación debe

efectuarla el fabricante del CI. Si se emplea una EPROM, la programación puede hacerla el usuario con el dispositivo al efecto. La decisión relativa a qué tipo emplear se basa en criterios de velocidad, costo, flexibilidad, etc.

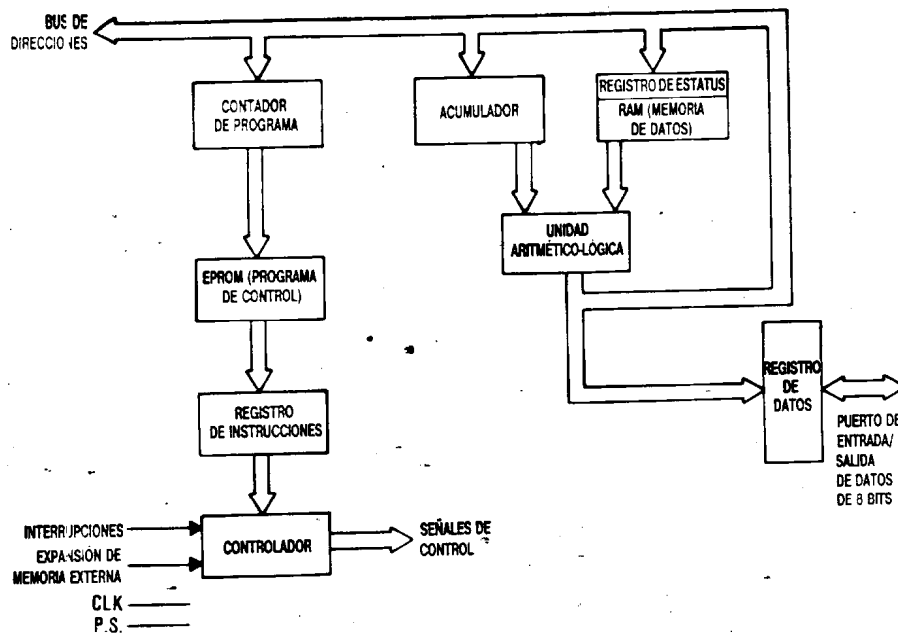


Ilustración 43: Microcomputador de 8 bits

4.22 El Microprocesador

El microprocesador es uno de los logros más sobresalientes del siglo XX. Esas son palabras atrevidas, y hace un cuarto de siglo tal afirmación habría parecido absurda. Pero cada año el microprocesador se acerca más al centro de nuestras vidas, forjándose un sitio en el núcleo de una máquina tras otra. Su presencia ha comenzado a cambiar la forma en que percibimos el mundo e incluso a nosotros mismos. Cada vez se hace más difícil pasar por alto el microprocesador como otro simple producto en una larga línea de innovaciones tecnológicas. Ninguna otra invención en la historia se ha diseminado tan aprisa por todo el mundo o ha tocado tan profundamente tantos aspectos de la existencia humana. Hoy existen casi 15,000 millones de microchips de alguna clase en uso (el equivalente de dos computadoras poderosas para cada hombre, mujer y niño del planeta). De cara a esa realidad, ¿quién puede dudar que el microprocesador no sólo está transformando los productos que usamos, sino también

nuestra forma de vivir y, por último, la forma en que percibimos la realidad? Aunque reconocemos la penetración del microprocesador en nuestras vidas, crecemos indiferentes a la presencia de esos miles de máquinas diminutas que nos encontramos sin saberlo todos los días. Así que, antes de que se integre de manera demasiado imperceptible en nuestra diaria existencia, es el momento de celebrar al microprocesador y la revolución que ha originado, para apreciar el milagro que es en realidad cada uno de esos chips de silicio diminutos y meditar acerca de su significado para nuestras vidas y las de nuestros descendientes.

El microprocesador es la parte de la computadora diseñada para llevar a cabo o ejecutar los programas. Este viene siendo el cerebro de la computadora, el motor, el corazón de esta máquina. Ejecuta instrucciones que se le dan a la computadora a muy bajo nivel haciendo operaciones lógicas simples, como sumar, restar, multiplicar y dividir. El microprocesador, o simplemente el micro, es el cerebro del ordenador. Es un chip, un tipo de componente electrónico en cuyo interior existen miles (o millones) de transistores, cuya combinación permite realizar el trabajo que tenga encomendado el chip.

El microprocesador es un producto de la computadora y con tecnología semiconductora. Se elabora desde la mitad de los años 50; estas tecnologías se fusionaron a principios de los años 70, produciendo el llamado microprocesador. La computadora digital hace cálculos bajo el control de un programa. La manera general en que los cálculos se han hecho es llamada la arquitectura de la computadora digital. Asimismo la historia de circuitos de estado sólido nos ayuda también, porque el microprocesador es un circuito con transistores o microcircuito LSI (Large Scale Integration), para ser más preciso. Las dos tecnologías iniciaron su desarrollo desde la Segunda Guerra Mundial; en este tiempo los científicos desarrollaron computadoras especialmente para uso militar. Después de la guerra, a mediados de los años 40 la computadora digital fue desarrollada para propósitos científicos y civiles. La tecnología de circuitos electrónicos avanzó y los científicos hicieron grandes progresos en el diseño de dispositivos físicos de Estado Sólido. En los años 50, aparecen las primeras computadoras digitales de propósito general. Éstas usaban tubos de vacío como componentes electrónicos activos. Tarjetas o módulos de tubos

de vacío fueron usados para construir circuitos lógicos básicos tales como compuertas lógicas y flip-flops²⁰. Ensamblando compuertas y flip-flops en módulos, los científicos construyeron la computadora (la lógica de control, circuitos de memoria, etc.). Los tubos de vacío también formaron parte de la construcción de máquinas para la comunicación con las computadoras. Para el estudio de los circuitos digitales, en la construcción de un circuito sumador simple se requiere de algunas compuertas lógicas. La construcción de una computadora digital requiere de muchos circuitos o dispositivos electrónicos. El principal paso tomado en la computadora fue hacer que el dato fuera almacenado en memoria como una forma de palabra digital. La idea de almacenar programas fue muy importante.

La tecnología de los circuitos de estado sólido evolucionó en la década de los años 50. El uso del material silicio de bajo coste y con métodos de producción masivos, hicieron al transistor ser el más usado para el diseño de circuitos. Por lo tanto el diseño de la computadora digital fue un gran avance del cambio para remplazar al tubo de vacío por el transistor a finales de los años 50. A principios de los años 60, el arte de la construcción de computadoras de estado sólido se incrementó y surgieron las tecnologías en circuitos digitales como: RTL (Logic Transistor Resistor), DTL (Logic Transistor Diode), TTL (Logic Transistor Transistor), ECL (Logic Complemented Emissor). A mediados de los años 60 se producen las familias de lógica digital, dispositivos en escala SSI y MSI que corresponden a pequeña y mediana escala de integración de componentes en los circuitos de fabricación. A finales de los años 60 y principios de los años 70 surgieron los LSI (gran escala de integración). La tecnología LSI fue haciendo posible más y más circuitos digitales en un circuito integrado. Pero se produjeron pocos circuitos LSI. Los dispositivos de memoria fueron un buen ejemplo: las primeras calculadoras electrónicas requerían de 75 a 100 circuitos integrados. Después se dio un paso importante en la reducción de la arquitectura de la

²⁰ Un biestable (flip-flop o LATCH en inglés), es un multivibrador capaz de permanecer en uno de dos estados posibles durante un tiempo indefinido en ausencia de perturbaciones. Esta característica es ampliamente utilizada en electrónica digital para memorizar información.

computadora a un circuito integrado simple, resultando un circuito que fue llamado el microprocesador.

El microprocesador tiene una arquitectura parecida a la computadora digital. En otras palabras, el microprocesador es como la computadora digital porque ambos realizan cálculos bajo un programa de control. Hizo posible la manufactura de poderosas calculadoras y de muchos otros productos. Utiliza el mismo tipo de lógica que es usado en la unidad procesadora central (CPU) de una computadora digital. El microprocesador es algunas veces llamado unidad microprocesadora (MPU). En otras palabras, es una unidad procesadora de datos. En un microprocesador podemos diferenciar diversas partes:

- **El encapsulado:** es lo que rodea a la oblea de silicio en sí, para darle consistencia, impedir su deterioro (por ejemplo, por oxidación por el aire) y permitir el enlace con los conectores externos que lo acoplaran a su zócalo en su placa base.
- **La memoria caché:** es una memoria ultrarrápida que emplea el micro para tener a mano ciertos datos que predeciblemente serán utilizados en las siguientes operaciones sin tener que acudir a la memoria RAM reduciendo el tiempo de espera. Por ejemplo: en una biblioteca, en lugar de estar buscando cierto libro a través de un banco de ficheros de papel se utiliza la computadora, y gracias a la memoria caché, obtiene de manera rápida la información. Todos los micros compatibles con PC poseen la llamada caché interna de primer nivel o L1; es decir, la que está más cerca del micro, tanto que está encapsulada junto a él. Otros micros como Pentium III Coppermine, Athlon Thunderbird, etc, incluyen también en su interior otro nivel de caché, más grande aunque algo menos rápida, la caché de segundo nivel o L2.
- **Coprocesador Matemático:** o correctamente la FPU (Unidad de coma flotante), que es la parte del micro especializada en esa clase de cálculos matemáticos. Antiguamente estaba en el exterior del micro en otro chip.

Esta parte está considerada como una parte "lógica" junto con los registros, la unidad de control, memoria y bus de datos.

- **Los registros:** son básicamente un tipo de memoria pequeña con fines especiales que el micro tiene disponible para algunos usos particulares. Hay varios grupos de registros en cada procesador. Un grupo de registros está diseñado para el control del programador y hay otros que no son diseñados para ser controlados por el procesador pero la CPU los utiliza en algunas operaciones en total son treinta y dos registros.
- **La memoria:** es el lugar donde el procesador encuentra sus instrucciones de programa y sus datos. Tanto los datos como las instrucciones están almacenados en memoria, y el procesador los toma de ahí. La memoria es una parte interna de la computadora y su función esencial es proporcionar un espacio de trabajo para el procesador.
- **Puertos:** es la manera en que el procesador se comunica con el mundo externo. Un puerto es parecido a una línea de teléfono. Cualquier parte de la circuitería de la computadora con la cual el procesador necesita comunicarse, tiene asignado un número de puerto que el procesador utiliza como un número de teléfono para llamar al circuito o a partes especiales.

Existen características fundamentales que son esenciales para identificar un microprocesador, aparte del nombre que se le dan a la compañía por la que fue fabricada. Los cuales son:

- Su ancho de bus (medido en bits).
- La velocidad con que trabajan (medida en hertzios): existen dos tipo de velocidades de los micros hoy en día, velocidad interna que es la velocidad a la que funciona el micro internamente (200, 333, 450... MHz); y velocidad externa o del bus o también "velocidad del FSB"; la velocidad a la que se comunican el micro y la placa base, para poder abaratar el precio de ésta: típicamente, 33, 60, 66, 100 ó 133 MHz.



Ilustración 44: Arquitectura Intel 80386

Capacidades indispensables del microprocesador

Los microprocesadores deben cumplir con ciertas capacidades, siendo la primera leer y escribir información en la memoria de la computadora. Esto es decisivo, ya que en las instrucciones del programa que ejecuta el microprocesador y los datos sobre los cuales trabaja están almacenados temporalmente en esa memoria. La otra capacidad es reconocer y ejecutar una serie de comandos o instrucciones proporcionados por los programas. La tercera capacidad es decirle a otras partes de la computadora lo que deben de hacer, para que el micro pueda dirigir la operación a la computadora. En pocas palabras los circuitos de control de la MPU o microprocesador tienen la función de decodificar y ejecutar el programa (un conjunto de instrucciones para el procesamiento de los datos).

4.23 1971

El 15 de agosto, Richard Nixon presidente de los EEUU, ordenó cerrar la ventanilla de compra-venta de oro en los mercados internacionales dando así por finiquitado el mundo de los tipos de cambio fijos para el que fue creado el FMI en la conferencia de Bretton Woods de 1944, y cambiando ya para siempre el orden mundial de los acontecimientos.



Ilustración 45: Richard Nixon

El patrón oro se generalizó como regla en las transacciones internacionales a mediados del siglo XIX. Por entonces, las monedas eran ya una realidad en la mayoría de países con un mínimo de interés comercial, se hizo por tanto necesario dotarlos de unas reglas de valoración monetarias que hicieran justos y equilibrados los intercambios entre países. Así fue como se optó por el oro en detrimento de la plata para fijar el valor de cada moneda nacional. Era sencillo y no necesitaba de más medidas que aplicar las reglas una vez aceptadas por todos. Y la regla no era otra que fijar en cada país el valor de la moneda en una determinada cantidad de oro, de forma que las monedas y los billetes en curso en cada país dependían de la cantidad de oro con la que contaba el país en cuestión. Dichas monedas podían y debían ser cambiadas por su valor en oro a voluntad de cada país. De esta manera quedaba unificado el

sistema monetario internacional y se preservaba el equilibrio en las economías nacionales.

Existía una correlación directa entre la riqueza del país y el dinamismo de su economía, y era igualmente fácil corregir un desajuste o desfase. Así, cuando un país compraba bastante más de lo que vendía se veía obligado a sacar oro de sus reservas para hacer frente a los pagos, provocando un desequilibrio en su balanza comercial. Esta situación traía como consecuencia la ralentización del crecimiento, menos ventas, y por consiguiente una obligatoria bajada de los precios de los productos de cara al exterior, lo cual favorecía a su vez la venta, por ser más baratos sus productos al cambio, volviendo de esta manera a entrar divisas de fuera que equilibraban el desfase de la balanza comercial. Y de igual manera al contrario: cuando un país vendía mucho más de lo que compraba sus reservas en oro crecían y el país se hacía más rico, la gente podía comprar más porque tenían más dinero, lo que provocaba un alza en los precios de los productos de cara al exterior, situación que traía como consecuencia un descenso de las exportaciones en relación con las importaciones, y con ello de nuevo el equilibrio. Este sencillo y en apariencia armonioso sistema, empezó a notar algunos problemas cuando las economías fueron creciendo y se hizo necesaria más liquidez, esto es, más monedas y más billetes circulando. Problemas porque no se podían poner en circulación más monedas que su equivalente en oro en cada reserva nacional. Dicho de otra manera: cada país podía crear moneda, pero sabía que al crear moneda estaba dando salida a parte de su oro, y sólo en base al oro del que dispusiera podía crear moneda, y no más, ya que había que respetar el valor de cambio en oro dado a la moneda, un valor que se falseaba si se emitían en exceso.

Corrían los primeros años 20, y aunque todavía Inglaterra intentó varias veces reestablecer el orden, sus intentos fueron vanos. Ahora había otros países con igual pujanza, concretamente los EEUU, que aplicaban otras reglas, y el mercado se descontroló definitivamente. Las monedas nacionales comenzaron a fluctuar libremente, no había control, no había una regla unificadora, y así, a los pocos años acabó por estallar el famoso “Crack del 29”, la primera gran crisis del capitalismo hasta que llegó la actual, iniciada en 2007/2008.

Poco tiempo más tarde el mundo volvía a la guerra, esta vez la Segunda. En unos años en los que, intentando sobrevivir, a pocos países les quedó tiempo de preocuparse por ordenar el sistema monetario internacional. Pero la guerra acabó, y vistos los antecedentes pasados, pronto, los vencedores empezaron a preocuparse por recuperar el orden económico perdido. De aquella preocupación vino Bretton Woods (1944), y se creó el Banco Mundial, y el FMI, y se pasó de acuerdos tácitos a acuerdos oficiales jurídicamente reglados que volvían a poner orden en los intercambios monetarios entre países. En Bretton Woods se decidió que el encargado de hacer cumplir las reglas del juego sería el FMI, y detrás de él, con un peso fundamental, los Estados Unidos. En Bretton Woods se estableció de nuevo una paridad entre las distintas monedas y el oro, pero la moneda reserva garante del equilibrio del sistema pasaba a ser el dólar americano, al precio de 35 dólares por onza de oro. El tipo de cambio seguía siendo fijo con algunas salvedades, y se permitía a los Bancos Centrales de cada país miembro del sistema acudir a la Reserva Federal americana para convertir los dólares reserva en oro al precio fijado o viceversa. EEUU ofrecía así su moneda como valor reserva, y ésta hacía las veces del oro, sustituyéndolo, pero manteniendo su paridad con él.

Pero todo lo bueno acaba, y también aquel equilibrio económico acabó por quebrarse, cuando algunos países industrializados –en especial Francia y también Japón– con mucha reserva en dólares producto del superávit de sus balances comerciales, empezaron a ver con preocupación la inflación creciente de la economía americana y el aumento de su déficit, provocado entre otras razones por el desmesurado gasto que supuso la inacabable guerra de Vietnam. Estos países temieron que tanta abundancia de dólares repartidos por el mundo tuviera consecuencias inflacionarias a nivel mundial, lo cual desembocó en una paulatina pérdida de confianza en la fortaleza futura del dólar. Y sucedió lo que algunos habían augurado: la abundancia de dólares en el sistema derivó en un proceso de inflación internacional. Había tanto líquido de dólares en el mercado que los gobiernos encontraban serios problemas para defender la paridad de sus monedas frente a la moneda americana, mientras, EEUU seguía acumulando déficit.

El siguiente paso estaba cantado. Perdida la confianza en la fortaleza del dólar, algunos países ricos optaron por poner a salvo su economía de esta falta de confianza y comenzaron a canjear sus dólares en oro en la Reserva Federal, tal cómo se había acordado años atrás. Consecuencias: 1ª) el oro de las reservas americanas empezó a bajar hasta unos niveles preocupantes; 2ª) se cuestionaba aún más la estabilidad del dólar como moneda de referencia internacional; 3ª) se perdía liquidez en los mercados que veían cómo bajaban los dólares al ser cambiados en oro. Y así, llegamos al año 1971, año en el que EEUU se encuentra ante la necesidad de devaluar su moneda frente al oro, esto es, aumentar el número de dólares necesarios para obtener una onza de oro con el fin de frenar la sangría de cambio de dólares en oro que estaba mermando notablemente sus reservas, y devolver de esta manera el equilibrio y la realidad a un mercado internacional distorsionado. Esto fue lo que aconsejaron algunos expertos, entre ellos Paul Samuelson, premio Nobel de Economía de aquel año, y esto fue lo que no hizo Nixon, aconsejado por otro pope del pensamiento económico, Milton Friedman. Friedman aconsejó a Nixon que rompiera la regla y suspendiera el acuerdo que permitía cambiar dólares en oro de la Reserva Federal, y Nixon aplicó el consejo de Friedman, un 15 de agosto de aquel año 1971.

Nunca más ya en adelante los dólares acumulados en las transacciones internacionales pudieron ser cambiados por oro de los EEUU, fue el fin del patrón de cambio oro, el caos financiero estaba servido.

Hasta 1971 el crecimiento de las economías, el crecimiento del crédito, la liquidez de los mercados, estaban controlados en cierto modo por el valor oro y su fijación con el dólar como referencia. Hasta esa fecha, todas las monedas del mundo, todas las economías, tenían un valor real cuantificable, tenían un respaldo, en base a la convertibilidad de cada riqueza nacional en oro a través del dólar. Dicho de otra manera, hasta 1971 la economía mundial tenía los pies en el suelo de la realidad al mantener la referencia del oro como valor. Cuando las economías mundiales ven cerrada la posibilidad de medir sus riquezas en oro, ya sólo quedan los dólares como divisa de cambio internacional. El problema está en que Estados Unidos no tenía pensado parar en su política de barra libre a la creación de moneda, y siguió generando deuda, y siguió comprando en todas partes del mundo metiendo cada vez

más y más dólares en el mercado internacional, y entre tanta liquidez el crédito se disparó, y al amparo del dinero fácil la economía mundial creció y creció hasta lo que ya todos conocemos como libre mercado y globalización, y el equilibrio se rompió. Se rompió porque donde antes todos los países desarrollados se cuidaban de tener una economía más o menos diversificada buscando un equilibrio entre exportaciones e importaciones, por aquello del ajuste de la balanza comercial, ahora, abierta la posibilidad de crear dinero sin base real a través del crédito y el interés, abierta quedó también la veda a que los especuladores ávidos de ganancias empezaran a jugar con las economías de los países, y se empezara a apostar por la deslocalización de los mercados buscando el máximo beneficio en países con una mano de obra más barata. Lo último, consecuencia de aquello: el Pacto del Euro, para abaratar aún más los despidos, alargar jornadas, bajar sueldos y hacer lo imposible por competir con esos mercados extra europeos que nosotros mismos creamos.

En definitiva, desde 1971 hemos crecido y crecido, pero lo hemos hecho en una farsa. Porque se creó dinero a partir de dinero, dinero de papel, dinero deuda, dinero ficticio, inflado, duplicado, fabricado de la nada, creado a voluntad de un solo país.

Capítulo 5 :

Conclusiones

El objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera ha sido el estudio del *microchip* en su entorno, en primer lugar científico-técnico y también histórico-social. A modo de conclusiones podemos establecer que:

A) En cuanto a los aspectos científico-técnicos:

- La llegada al circuito integrado, el *chip*, vino precedida de la aparición, y el uso masivo, de la válvula termoiónica o de vacío, desarrollada desde finales del siglo XIX. En esta primera fase de la electrónica destacaron los nombres de Fleming y De Forest, convirtiéndose el primero en “padre de la electrónica” por la invención de la primera válvula de vacío (1897).

- El estudio aquí acometido ha tratado del descubrimiento del transistor, considerado por muchos el más importante del siglo XX, que fue desarrollado en 1947-48 por el trío de científico-ingenieros Shockley, Brattain y Bardeen.

- Este dispositivo, el transistor, dio lugar en pocos años al circuito integrado, el chip, debido a los trabajos sobre todo de Kilby y Noyce (1958). Los esfuerzos se centraron en la consecución de dispositivos de cada vez menores dimensiones, hasta llegar a los microchips, con decenas, centenas y hasta millones de elementos activos en pocos milímetros cuadrados.

- Los materiales semiconductores, constituidos por un elemento base que tradicionalmente ha sido el silicio o el germanio (ambos de valencia electrónica 4), pero que también puede estar constituido por otros elementos químicos (boro, arsénico, estaño) se distinguen por su conductividad eléctrica (por cierto, proporcional a la temperatura a la que se someten) y por la disposición que se hace en su interior de electrones y huecos, así como de diferentes bandas y niveles energéticos.

- Los logros en acumulación de elementos y funciones en volúmenes cada vez más pequeños fueron posibles por el empleo perfeccionado de técnicas principalmente fotolitográficas, que consiguen crear el diseño perseguido a partir de un proceso de especial naturaleza física, en el que se actúa sobre un sustrato (oblea), una fotorresina, una máscara, ciertos compuestos químicos, el proceso de grabación y colocación de circuitos metálicos, aplicación de luz ultravioleta...

- Este proceso es aun más complejo y delicado en el caso de la fabricación de microprocesadores, por el carácter específico de los elementos que contiene (cápsula, memorias, coprocesador matemático, registros...).

- El objetivo principal en estos procesos es eliminar impurezas que obstaculizan la conductividad, en el más alto grado posible.

- Del transistor se pasó pronto al circuito integrado y también (1971) al microprocesador, logro en el que destacaron Moore y Noyce, con la empresa Intel.

B) En cuanto a los aspectos histórico-sociales:

- Todo este desarrollo de los semiconductores tuvo lugar en una situación, primero, posbélica, y luego de Guerra Fría, en la que las tensiones político-militares internacionales sirvieron de estímulo en la investigación y el desarrollo de las técnicas y dispositivos electrónicos.

- Dos fechas resultan especialmente significativas en la historia de los semiconductores. La primera es 1947, año de lanzamiento del Plan Marshall, de masiva ayuda norteamericana a Europa para eliminar toda posibilidad de expansión del comunismo por los países occidentales europeos; y los avances definitivos en la puesta a punto del transistor. Y la segunda es 1971, año de ruptura de las reglas de juego económico-monetarias, y también del desarrollo del microprocesador, como consecuencia lógica de los avances en semiconductores.

- De forma directa o indirecta, una gran parte de científicos e ingenieros se implicaron y desarrollaron su trabajo en este ambiente de competencia y rivalidad entre las dos grandes potencias vencedoras de la Segunda Guerra Mundial. En gran medida, este fue el caso de los científicos e ingenieros más destacados en la “carrera de los semiconductores”, ya que la mayor parte de los programas de investigación y desarrollo tuvieron lugar con financiación y según planes del gobierno norteamericano (lo que en buena parte sigue siendo el caso).

- Aunque este trabajo resulta limitado por razones obvias, la conclusión final y más general que debiera deducirse de él es que las creaciones y desarrollos científico-

técnicos, especialmente en el ámbito de la electrónica y las telecomunicaciones, han de considerarse inscritos en un complejo entorno de hechos y motivaciones que van más allá de lo científico-técnico para inscribirse en el marco más amplio de lo económico, lo político, lo militar y, en definitiva, lo histórico-social.

Capítulo 6 :

Bibliografía

- [1] <http://www.buenastareas.com>
- [2] <http://electro-cev.blogia.com>
- [3] <http://www.juanleyva.es>
- [4] <http://www.es.wikipedia.org>
- [6] <http://www.slideshare.net/enarosacera/los-transistores>
- [7] Genios de la Ingeniería eléctrica (Jesús Fraile Mora)
- [8] <http://www.ret-edu.com.ar>
- [9] <http://itpedia.wikispaces.com>
- [10] <http://webs.uvigo.es/mdgomez/DEI/Guias/tema5.pdf>
- [11] <http://www.juanleyva.es>
- [12] Transistores de efecto de campo (Ing. Carlos González) (myteacher.com)
- [13] Transistores de efecto de campo (Guillermo Lehmann)(www.eet460rafaela.edu.ar)
- [14] <http://www.monografias.com/trabajos25/plan-estabilizacion>
- [15] *Sala blanca para procesos de deposición y litografía de materiales y nano materiales* (Jordi Castañé Sanchez) (Universidad Autónoma de Barcelona)
- [16] <http://alt1040.com/2012/13/historia-de-la-tecnologia-robert-noyce>
- [17] *Los circuitos integrados* (Gonzalo Pinto Guevara) (universidad Nacional de Chimborazo)
- [18] http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/semiconductores/AIS_SEM_MET.pdf
- [19] [http:// www.fisicauva.galeon.com/aficiones1925813.html](http://www.fisicauva.galeon.com/aficiones1925813.html)

- [20] <http://materiales.fi.uba.ar/7206/Semic.pdf>
- [21] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/10/sec_6.htm
- [22] <http://www.ifent.org/lecciones/semiconductores/intrinsecos.asp>
- [23] <http://www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/enlacemetales/semiconductores>
- [24] http://www.asifunciona.com/fisica/ke_semiconductor/ke_semiconductor_4.htm
- [25] *Revista de la sociedad española de mineralogía* (Manuel Regueiro y González-Barros) (nº11, sep 09)
- [26] <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2007/11>
- [27] <http://www.tutonostira.com/glosario/fotolitografia.htm>
- [28] <http://alt1040.com/2012/04/historia-de-la-tecnologia-gordon-moore>
- [29] <http://es.scribd.com/doc/29204063/Ley-de-Moore>
- [30] http://www.cad.com.mx/historia_de_intel.htm
- [31] <http://mundoelectronics.blogspot.com>
- [32] <http://www.tecnologiahechapalabra.com>
- [33] <http://www.elpais.com>
- [34] <http://www.historiasiglo20.org/CRONO/gf.htm>
- [35] Temario de la asignatura *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Pedro Costa Morata
- [26] Temario de la asignatura *Diseño microelectrónico*. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor José Antonio Herrera

Anexo

Cronología relacionada

- ***Cronología histórico-científico-técnica***

- **1897**

Primer tubo electrónico (de rayos catódicos).

- **1940**

El físico inglés John Ambrose Fleming inventa el diodo de vacío (llamado válvula de vacío), que reemplaza a los relés electromecánicos (relés telefónicos) y como dispositivos biestables (con dos estados).

- **1906**

Se obtienen diodos de silicio (semiconductores). Se construye el triodo (equivalente al transistor pero en válvula de vacío).

- **1912**

Construcción de la radio por Marconi.

- **1929**

Se desarrolla el tiratrón, comienzo de la electrónica de potencia.

- **1946**

9 Febrero - Duro discurso de Stalin: el mundo capitalista y el comunista son incompatibles

22 Febrero - "Largo Telegrama" de Kennan

5 Marzo- Discurso de Churchill en Fulton ("Telón de Acero")

Septiembre - Se inicia la guerra civil en Grecia

19 Diciembre - Las fuerzas comunistas de Ho Chi Minh inician su lucha contra la dominación colonial francesa.

Construcción del ENIAC, primer ordenador construido con válvulas termoiónicas.

• 1947

12 Marzo - Discurso de Truman ante el Congreso pidiendo ayuda para Turquía y Grecia ("Doctrina Truman")

5 Junio - Discurso de G. Marshall en Harvard proponiendo un plan de ayuda a Europa ("Plan Marshall")

Diciembre - Comienza la guerra civil en China entre las fuerzas comunistas de Mao Zedong y las nacionalistas de Chiang Kai Chek

Walter Brattain, John Bardeen y William Shockley inventan en los laboratorios Bell el transistor, que sustituyó a la válvula de vacío por su mayor fiabilidad, su menor tamaño y su menor coste.

• 1948

25 Febrero - Golpe de estado comunista en Praga

17 Marzo - Tratado de Bruselas

14 Mayo - Proclamación del estado de Israel. Comienza la primera guerra árabe-israelí

24 Junio - Inicio del bloqueo de Berlín

28 Junio - Yugoslavia es expulsada de la Kominform

Aparece la obra *Cibernética* de Norbert Wiener

- **1949**

4 Abril - Firma del Tratado del Atlántico Norte (OTAN)

12 Mayo - Fin del bloqueo soviético de Berlín

23 Mayo - Adenauer proclama el nacimiento de la República Federal de Alemania

29 Agosto - Primera bomba atómica soviética

1 Octubre - Mao Zedong proclama la República Popular China

- **1950**

14 Febrero - Tratado chino-soviético de Amistad, Alianza y Mutua Asistencia

25 Junio - Corea del Norte ataca Corea del Sur

Septiembre - Las tropas norteamericanas de MacArthur recuperan el territorio conquista por los norcoreanos

Noviembre - Intervención de tropas chinas en favor de Corea del Norte

- **1950**

Aparece el transistor bipolar.

- **1951**

11 Abril - Truman destituye a MacArthur al frente de las tropas en Corea

8 Septiembre - Tratado de San Francisco entre Japón y Estados Unidos

- **1952**

3 Octubre - Gran Bretaña hace estallar su primera bomba atómica

4 Noviembre - Dwight Eisenhower elegido presidente de EE.UU.

• 1953

5 Marzo - Muerte de Stalin

27 Julio - Armisticio en la guerra de Corea

• 1953

Shockley propone el transistor de efecto de campo (FET).

• 1954

7 Mayo - Derrota francesa de Diem Bien Phu en Indochina

18 Junio - Un golpe organizado por la CIA derroca al presidente Arbenz en Guatemala

19 Agosto - Un golpe organizado por la CIA derroca al presidente Mossadegh en Irán

8 Septiembre - Firma del Tratado del Sudeste de Asia (SEATO)

• 1955

Febrero - Krushev asienta su liderazgo en el PCUS y la URSS

5 Abril - Tratado de Bagdad (Tratado del Oriente Medio) que posteriormente en 1959 se denominará Tratado del Centro (CENTO)

5 Mayo - La RFA recupera su soberanía, cinco días después se une a la OTAN

14 Mayo - Constitución del Pacto de Varsovia

- **1955**

Descubrimiento del tiristor.

- **1956**

25 Febrero - Krushev denuncia a Stalin en su "discurso secreto" ante el XX Congreso del PCUS

26 Julio - Nasser nacionaliza el Canal de Suez

29 Junio - Protestas obreras en Polonia

21 Octubre - El Kremlin acepta a Gomulka como líder polaco

23 Octubre - Inicio de la revolución en Hungría

29 Octubre - Inicio de la crisis de Suez: Israel, apoyada por Francia y Gran Bretaña, ataca a Egipto

4 Noviembre - Invasión soviética de Hungría

- **1956**

Premio Nobel en física a Bardeen, Brattain y Shockley por el descubrimiento del transistor.

- **1957**

25 de Marzo - Los Seis (Francia, RFA, Italia, Bélgica, Países Bajos y Luxemburgo) firman los Tratados de Roma que establecen la Comunidad Económica Europea (CEE)

4 Octubre - La URSS lanza el *Sputnik I* al espacio, el primer satélite artificial

- **1958**

31 Enero - Primer satélite artificial norteamericano

21 Diciembre - De Gaulle se convierte en el primer presidente de la V República francesa

- **1958**

Jack Kilby inventa el circuito integrado, usándose en un principio para chips de memoria.

- **1959**

1 Enero - Fidel Castro toma el poder en Cuba

15-27 Septiembre - Visita de Krushev a EE.UU

- **1960**

5 Mayo - Krushev anuncia el derribo en cielo soviético de un avión espía norteamericano U-2

16 Mayo - Fracaso de la cumbre Krushev- Eisenhower en París

19 Octubre - Embargo comercial norteamericano a Cuba

8 Noviembre - John F. Kennedy es elegido presidente de EE.UU.

- **1961**

3 Enero - Estados Unidos rompe relaciones diplomáticas con Cuba

12 Abril - Yuri Gagarin, el primer cosmonauta soviético en el espacio

17 Abril - Fracaso de la invasión organizada por la CIA de Cuba (Bahía de Cochinos o Playa Girón)

Mayo - EE.UU. envía sus primeros consejeros militares a Vietnam

3-4 Junio - Cumbre entre Krushev y Kennedy en Viena

13 Agosto - La RDA inicia la construcción del Muro de Berlín

- **1961**

Comercialización de los C.I. Por Texas Instrument y Fairchild, con una pequeña escala de integración (SSI), menos de diez componentes.

- **1962**

14 Octubre - Un avión espía norteamericano U-2 descubre misiles soviéticos en Cuba - Se inicia la Crisis de los Misiles en Cuba

- **1962**

Desarrollo del MOSFET por Fairchild.

- **1963**

29 Enero - Francia veto el ingreso del Reino Unido en la CEE

Marzo - Tras momentos de grave tensión, la URSS retira los misiles desplegados en Cuba

20 Junio - Se establece el "teléfono rojo" entre la Casa Blanca y el Kremlin

1 Noviembre - El presidente de Corea del Sur Ngo Dinh Diem es derrocada y asesinado en un golpe militar

22 Noviembre - John F. Kennedy es asesinado en Dallas

- **1964**

14 Octubre - Krushev es destituido y reemplazado por Breznev en la secretaría general del PCUS

16 Octubre - La China popular estalla su primera bomba atómica

3 Noviembre - Lyndon B. Johnson gana las elecciones presidenciales en EE.UU.

- **1965**

7 Febrero - Primer bombardeo norteamericano en Vietnam

8 Marzo - Llegan las primeras tropas de combate estadounidenses a Vietnam

28 Abril - EE.UU. interviene militarmente en la República Dominicana

Gordon Moore escribe el artículo que dio lugar a la Ley de Moore.

- **1966**

9 Marzo - Francia su retirada de la estructura militar de la OTAN, aunque se mantiene en la alianza

Se alcanza la integración a mediana escala (MSI), más de diez componentes y menos de 100.

- **1967**

5 Junio - Guerra de los Seis Días (Israel contra Egipto, Siria y Jordania)

21 Octubre - Grandes protestas ante el Pentágono en Washington contra la guerra del Vietnam

- **1968**

30 enero - Tropas comunistas inician la ofensiva del Tet en Vietnam

Marzo - Dubcek inicia la "Primavera de Praga"

16 Marzo - Tropas norteamericanas cometen la matanza de My Lai en Vietnam

20 Agosto - Tropas del Pacto de Varsovia invaden Checoslovaquia

5 Noviembre - Richard Nixon, nuevo presidente de EE.UU

- **1969**

2 Marzo - Primer choque militar en el río Ussuri entre la URSS y China Popular

20 Julio - Astronautas norteamericanos llegan a la Luna

25 Junio - Tras haber retirado 25.000 soldados, Nixon anuncia que en adelante los países asiáticos deberán defenderse por sí mismos ("Doctrina Nixon")

Se alcanza la integración a gran escala (LSI), más de 100 componentes y menos de 1000.

- **1970**

30 Abril - Tropas norteamericanas y de Vietnam del Sur invaden Camboya. Grandes protestas anti-guerra en EE.UU.

- **1971**

2 Agosto - La China Popular ingresa en las Naciones Unidas como miembro permanente del Consejo de Seguridad

Primer microprocesador (en un C.I. todo el procesador de una computadora) lo realizaron los ingenieros Ted Hoff y Federico Faggin en Intel y fue el 4004, de 4 bits y 275 transistores.

• 1972

22 Enero - La Europa de los Nueve: el Reino Unido, Dinamarca e Irlanda ingresan en la CEE

21 Febrero - Visita de Nixon a la China Popular

26 Mayo - Firma de los tratados SALT I en Moscú

17 Junio - Inicio del escándalo Watergate

• 1973

27 Enero - Se firma el Tratado de Paz sobre Vietnam en París. Fin de la intervención norteamericana, aunque la guerra continua.

11 Septiembre - Golpe militar apoyado por la CIA contra el presidente chileno Salvador Allende

6 Octubre - Guerra del Yom Kippur o del Ramadán (Israel contra Egipto y Siria)

• 1974

9 Agosto - Como resultado del escándalo Watergate, Nixon renuncia a la presidencia. Le sustituye su vicepresidente Gerald Ford

23 Agosto - Breznev y Ford se encuentran Vladivostok y acuerdan un borrador del tratado SALT II

- **1975**

17 Abril - Los Khmers rojos conquistan Phnom Penh, capital de Camboya

30 Abril - Tropas de Vietnam del Norte toman Saigón. Fin de la guerra del Vietnam.

1 Agosto - Firma del Acta de Helsinki

- **1976**

2 Julio - Reunificación de Vietnam del Norte y del Sur

2 Noviembre - Jimmy Carter es elegido presidente de EE.UU.

- **1977**

17 Marzo - Carter anuncia que los derechos humanos serán la mayor preocupación de la política exterior de EE.UU.

19 Noviembre - El presidente egipcio Anwar el-Sadat visita Israel

- **1978**

27 Abril - Militares pro-soviéticos toman el poder en Afganistán

25-17 Septiembre - Carter, Begin y Sadat firman los Acuerdos de Camp David

25 Diciembre - Tropas vietnamitas invaden Camboya y derrocan el régimen de los Khmers Rojos

- **1979**

1 Enero - EE.UU. y la China Popular establecen relaciones diplomáticas

16 Enero - Revolución islámica en Irán

27 Febrero - China ataca el norte de Vietnam como represalia por la invasión vietnamita de Camboya

8 Junio - Carter y Breznev firman los acuerdos SALT II en Viena

26 Marzo - Israel y Egipto firman en Washington el Tratado de Paz entre ambos países

17 Julio - Las tropas sandinistas derrocan la dictadura de Somoza

4 Noviembre - Asalto a la embajada norteamericana en Teherán y toma de rehenes (La crisis de los rehenes durará 444 días)

27 Diciembre - Invasión soviética de Afganistán

• 1975

Se alcanza la integración a muy gran escala (VLSI), más de 1000 componentes.

• 1980

3 Enero - Carter retira el tratado SALT II de la consideración del Congreso como respuesta a la invasión de Afganistán

24 Enero - Carter anuncia que EE.UU. usará la fuerza en caso de que otra potencia amenace su acceso al petróleo del Golfo Pérsico ("Doctrina Carter")

24 Abril - Fracasa un intento norteamericano para rescatar a los rehenes

Julio-Agosto - EE.UU. y otras 40 naciones boicotean los Juegos Olímpicos de Moscú

31 Agosto - Lech Walesa firma el acuerdo que significa el reconocimiento legal del sindicato Solidaridad

4 Noviembre - Ronald Reagan es elegido presidente de los EE.UU.

- **1981**

6 Octubre - Oficiales fundamentalistas egipcios asesinan a Anuar el-Sadat durante un desfile militar

13 Diciembre - Golpe militar en Polonia. Se decreta la ley marcial y Walesa es encarcelado

- **1982**

6 Junio - Israel invade el sur del Líbano para evitar los ataques guerrilleros de la OLP

10 Noviembre - Breznev muere. Es sustituido por Yuri Andropov

- **1983**

23 Marzo - Reagan anuncia el lanzamiento de la Iniciativa de Defensa Estratégica (IDE)

18 Abril - Ataque terrorista contra la embajada norteamericana en Beirut - 63 muertos

23 Octubre - Ataque terrorista suicida contra un cuartel de Marines norteamericanos en Beirut - 241 muertos

25 Octubre - Invasión norteamericana de la isla de Granada

23 Noviembre - Se inicia el despliegue de los "Euromisiles"

- **1984**

9 Febrero - Muere Yuri Andropov. Es sustituido por el anciano Constantin Chernenko

24 Mayo - El Congreso norteamericano prohíbe continuar con la ayuda a la *Contra* nicaragüense

Julio-Agosto - La URSS y sus aliados (excepto Rumania) boicotean los Juegos Olímpicos de Los Ángeles

26 Septiembre - Acuerdo chino-británico para la devolución de Hong-Kong en 1997

• 1985

6 Febrero - Reagan anuncia que EE.UU. apoyará a los rebeldes que luchan contra regímenes comunistas en el Tercer Mundo ("Doctrina Reagan")

11 Marzo - Mijaíl Gorbachov es elegido Secretario General del PCUS

11 Junio - Gorbachov propone una reforma en profundidad de la economía soviética

19 Noviembre - Primera cumbre entre Gorbachov y Reagan en Ginebra

• 1999

Se presenta el chip molecular, basado en moléculas de rotaxano, que harían las funciones de los transistores, si este proyecto finalmente se lleva a cabo un solo ordenador con un microprocesador molecular sería más potente que la suma de todos los ordenadores que existen en la actualidad.

• 2000

Premio Nobel de Física para Jack Kilby